

**ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ**

ΓΕΝΙΚΟ ΤΜΗΜΑ – ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ-ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

**Φυσικές και ανθρωπογενείς επιπτώσεις  
στην ποιότητα των νερών και εδαφών  
της Ανατολικής Αττικής**

**Παναγιώτα Κ. Χαμπίδη**  
Γεωπόνος, M.Sc. Διαχείριση Περιβάλλοντος

- ΑΘΗΝΑ 2012 -

**Επιβλέπων Καθηγητής: Γ. Σταμάτης**

Διδακτορική Διατριβή με τίτλο: **Φυσικές και ανθρωπογενείς επιπτώσεις στην ποιότητα των νερών και εδαφών της Ανατολικής Αττικής**

Της: **Χαμπίδη Παναγιώτας**

Επιβλέπων Καθηγητής: **Σταμάτης Γεώργιος**

## **ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:**

### **ΜΕΛΗ ΤΗΣ ΣΥΜΒΟΥΛΕΥΤΙΚΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ:**

**Σταμάτης Γεώργιος** (Καθηγητής του Γενικού Τμήματος του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών, Επιβλέπων Καθηγητής)

**Μιγκίρος Γεώργιος** (Καθηγητής του Γενικού Τμήματος του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών)

**Σερέλης Κωνσταντίνος** (Επίκουρος Καθηγητής του Γενικού Τμήματος του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών)

### **ΜΕΛΗ ΤΗΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ:**

**Γκάρτζος Ευθύμιος** (Καθηγητής του Γενικού Τμήματος του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών)

**Λαμπράκης Νικόλαος** (Καθηγητής του Τμήματος Γεωλογίας του Πανεπιστημίου Πατρών)

**Στουρνάρας Γεώργιος** (Καθηγητής του Τμήματος Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος του Ε.Κ.Π.Α.)

**Χαϊντούτη Κωνσταντίνα** (Καθηγήτρια του Τμήματος Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών)

«Η έγκριση της παρούσης Διδακτορικής Διατριβής από το Γενικό Τμήμα του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών δεν υποδηλώνει αποδοχή των γνώμων του συγγραφέως» (Ν. 5343/1932, άρθρο 202, παρ. 2)



Στον Αναστάση και  
την Κωνσταντίνα

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία πραγματεύεται τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των υπόγειων κι επιφανειακών νερών και των εδαφών στην ευρύτερη περιοχή των Μεσογείων Ανατολικής Αττικής, καθώς και την εκτίμηση του υδρολογικού ισοζυγίου στις δύο λεκάνες απορροής Ερασίνου και Μεγάλου Ρέματος. Σκοπός είναι η διερεύνηση των φυσικών κι ανθρωπογενών επιδράσεων που συμβάλλουν στην διαφοροποίηση της ποιότητας των υδατικών κι εδαφικών πόρων της περιοχής.

Η περιοχή έρευνας βρίσκεται στο Ανατολικό τμήμα του Ν. Αττικής, μεταξύ γεωγραφικού πλάτους  $37^{\circ}55'$  και  $37^{\circ}95'$  και γεωγραφικού μήκους  $23^{\circ}55'$  και  $24^{\circ}10'$ . Η φυσιογραφική της οριοθέτηση συντελείται στα βόρεια απ' τον υδροκρίτη του όρους Πεντέλη, στα δυτικά απ' τον υδροκρίτη του όρους Υμηττός, στα νότια απ' τους υδροκρίτες των λόφων "Μερέντα" και "Κορυφή" και στα Ανατολικά απ' την ακτογραμμή Ραφήνα – Άρτεμις – Πόρτο-Ράφτη. Το ανάγλυφο είναι ήπιο στο κεντρικό τμήμα, όπου κι αναπτύσσεται ο καλλιεργούμενος κάμπος και πιο έντονο στα βόρεια και δυτικά όπου αναπτύσσονται τα όρη Πεντέλη και Υμηττός με μέγιστα υψόμετρα εντός της περιοχής έρευνας 940m και 1026m αντίστοιχα.

Το υδρογραφικό δίκτυο συνίσταται από τις υδρολογικές λεκάνες του Ερασίνου και του Μεγάλου Ρέματος στο νότιο και στο βόρειο τμήμα αντίστοιχα. Το κοινό όριο των δύο λεκανών εκτείνεται απ' τα πρηνή του Υμηττού στα Γλυκά Νερά έως τον κόλπο της Αρτέμιδος. Ο Ερασίνος αποτελείται μόνο από έναν κεντρικό κλάδο, ο οποίος παρουσιάζει μηδενική ροή τους άνομβρους μήνες κι εκβάλλει στον όρμο Βραώνας, ή Βραυρώνας σε δέλτα που ανήκει στην προστατευόμενη ζώνη Natura 2000. Ο Ερασίνος διαρρέει μέσω νεογενών και τεταρτογενών αποθέσεων. Το Μεγάλο Ρέμα Ραφήνας αποτελείται από δύο κύριους κλάδους, τον ομώνυμο που πηγάζει από τα βορειοανατολικά πρηνή του Υμηττού και τον "Βαλανήρη" που πηγάζει από τα νότια πρηνή της Πεντέλης κι ενώνονται σε έναν κλάδο στην περιοχή του Πικερμίου. Το Μεγάλο Ρέμα παρουσιάζει μόνιμη ροή, ενώ ο Βαλανήρης παρουσιάζει εποχικά κυμαινόμενη ροή με μηδενική ροή τους θερινούς μήνες. Οι βόρειοι κλάδοι του Βαλανήρη διαρρέουν τα κρυσταλλοσχιτώδη της Πεντέλης, ενώ στο νότιο τμήμα διέρχεται μέσω Νεογενών και Τεταρτογενών σχηματισμών. Το μεγαλύτερο τμήμα του Μεγάλου Ρέματος διέρχεται μέσω Νεογενών και Τεταρτογενών σχηματισμών. Και στα δύο υδρορέματα, Ερασίνος και Μεγάλο Ρέμα, εντοπίζονται κλάδοι υδρογραφικού δικτύου 1<sup>ης</sup> έως και 7<sup>ης</sup> τάξης. Το υδρογραφικό δίκτυο είναι μέτρια ανεπτυγμένο με μορφές παράλληλες, γωνιώδεις και δενδριτικές.

Η έντονη ανάπτυξη της περιοχής προκάλεσε τα τελευταία χρόνια δημογραφική έκρηξη και στροφή του καθιερωμένου για χρόνια πρωτογενή τομέα προς τον τριτογενή. Η φυσική βλάστηση αποτελείται από τη χαλέπιο πεύκη και τα θαμνώδη φυτά. Οι μεγαλύτερες εκτάσεις στην περιοχή υφίστανται γεωργική εκμετάλλευση με επικρατούντες καλλιέργειες το αμπέλι και την ελιά. Μελλοντικά, προβλέπεται λόγω της αυξημένης ζήτησης γης, να μετατραπούν οι υφιστάμενες καλλιεργήσιμες περιοχές σε οικιστικές και βιοτεχνικές ζώνες.

Το κλίμα της περιοχής χαρακτηρίζεται από χαμηλό ύψος βροχής και υψηλές θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, ακολουθώντας το ξηροθερμικό κλίμα της ευρύτερης περιοχής. Τα κατακρημνίσματα είναι λιγιστά ακόμη και κατά τη διάρκεια των χειμερινών μηνών, γεγονός που περιορίζει τον εμπλουτισμό των υπόγειων υδροφόρων οριζόντων.

Η εκτίμηση του υδρολογικού ισοζυγίου των δυο υδρολογικών λεκανών που αφορά το υδρολογικό έτος 2005-2006 βασίστηκε σε εβδομαδιαίες μετρήσεις της παροχής του Ερασίνου και Μεγάλου Ρέματος σε σημεία πλησίον των εκβολών τους.

Ο μέσος ετήσιος όγκος νερού κατακρημνισμάτων ανέρχεται στα  $87.491,98 \cdot 10^3 \text{ m}^3$  στη λεκάνη Ερασίνου και  $69.027,2 \cdot 10^3 \text{ m}^3$  στη λεκάνη Μεγάλου Ρέματος που αντιστοιχούν σε 431,42mm ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων, κατανεμημένα σε όλη την επιφάνεια της υδρολογικής λεκάνης.

Στην υδρολογική λεκάνη Μεγάλου Ρέματος ο μέσος όγκος νερού επιφανειακής απορροής ανέρχεται στα  $19.360 \cdot 10^3 \text{ m}^3$  που αντιστοιχούν σε 121,4mm κατανεμημένα σε όλη την επιφάνεια της λεκάνης ή σε ποσοστό 28,14% του ύψους βροχής. Ο μέσος ετήσιος όγκος νερού κατείσδυσης ανέρχεται στα  $8.947,2 \cdot 10^3 \text{ m}^3$  που αντιστοιχούν σε 55,92mm κατανεμημένα σε όλη την επιφάνεια της λεκάνης ή σε ποσοστό 12,87% του ύψους βροχής και τέλος ο μέσος όγκος νερού, απώλειας μέσω εξατμισοδιαπνοής ανέρχεται στα  $40.720 \cdot 10^3 \text{ m}^3$  που αντιστοιχούν σε 254,5mm κατανεμημένα σε όλη την επιφάνεια της λεκάνης ή σε ποσοστό 58,99% του ύψους βροχής.

Στην υδρολογική λεκάνη Ερασίνου ο μέσος όγκος νερού επιφανειακής απορροής ανέρχεται στα  $11.458,2 \cdot 10^3 \text{ m}^3$  που αντιστοιχούν σε 56,5mm κατανεμημένα σε όλη την επιφάνεια της λεκάνης ή σε ποσοστό 13,1% του ύψους βροχής. Ο μέσος ετήσιος όγκος νερού κατείσδυσης ανέρχεται στα  $24.421,18 \cdot 10^3 \text{ m}^3$  που αντιστοιχούν σε 120,42mm κατανεμημένα σε όλη την επιφάνεια της λεκάνης ή σε ποσοστό 27,91% του ύψους βροχής και τέλος ο μέσος όγκος νερού απώλειας μέσω εξατμισοδιαπνοής ανέρχεται στα  $51.612,6 \cdot 10^3 \text{ m}^3$  που αντιστοιχούν σε 254,5mm κατανεμημένα σε όλη την επιφάνεια της λεκάνης ή σε ποσοστό 58,99% του ύψους βροχής.

Από πλευράς γεωτεκτονικής, η περιοχή αποτελεί τμήμα της Αττικο-Κυκλαδικής μάζας. Το γεωλογικό υπόβαθρο δομείται από μεγάλο πάχος Μεσοζωικών μέχρι και Μεσοηωκανικών ανθρακικών σχηματισμών, ασβεστόλιθους, δολομίτες και μάρμαρα, με παρεμβολές σχιστόλιθων και ενστρώσεις μαρμάρων σημαντικού πάχους. Η μάζα της Πεντέλης δομείται από σχιστόλιθους και μάρμαρα. Στη γεωλογική δομή του Υμηττού συμμετέχουν, το Ανώτερο και Κατώτερο μάρμαρο, οι σχιστόλιθοι Καισαριανής κι οι δολομίτες Πυρναρής. Στους πρόποδες του Υμηττού, απαντώνται κατά τόπους μικρά οφιολιθικά σώματα. Πάνω από τα οφιολιθικά σώματα αναπτύσσονται οι Ανωκρητιδικοί ασβεστόλιθοι, έντονα κατακερματισμένοι και καρστοποιημένοι, στην βάση των οποίων απαντώνται εντός των ρωγμών και των καρστικών εγκύλων, μικρές εμφανίσεις οξειδίων, τα οποία προέρχονται προφανώς από την διάβρωση των ανθρακικών πετρωμάτων. Στην οροφή των οφιολιθικών σωμάτων εντοπίζονται περιορισμένες εμφανίσεις μικτών θειούχων ορυκτών, τα οποία προέρχονται από την διάβρωση των ηφαιστειακών αυτών πετρωμάτων.

Στο μεγαλύτερο τμήμα της περιοχής αναπτύσσονται τριτογενείς και τεταρτογενείς σχηματισμοί κι αποθέσεις. Οι τριτογενείς σχηματισμοί αποτελούνται από ασβεστόλιθους, μάργες, ψαμμίτες και κροκαλοπαγή ενώ οι τεταρτογενείς από διλουβιακούς σχηματισμούς, κορήματα κι αλλουβιακές αποθέσεις αποτελούμενα από ασβεστολιθικά, μαργαϊκά, ψαμμιτικά υλικά, πηλούς, αργίλους, χάλικες και άμμοι. Μεταξύ Ραφήνας και Πικερμίου εντοπίζονται λιγνιτικές αποθέσεις, το συνολικό πάχος των οποίων υπερβαίνει κατά τόπους τα 6 μέτρα. Εντός των μαργαϊκών σχηματισμών εντοπίζονται κατά τόπους μικρές ενδιαστρώσεις λιγνιτικών οριζόντων.

Το τεκτονικό περιβάλλον της ευρύτερης περιοχής χαρακτηρίζεται από την ανάπτυξη του αντικλίνου Υμηττού-Πάρνηθας-Μαραθώνα, του οποίου ο άξονας έχει ΒΑ-ΝΔ/κή διεύθυνση. Στα ανατολικά της αντικλινικής αυτής δομής αναπτύσσεται το σύγκλινο της Μεσογαίας, τμήμα του οποίου αποτελεί η περιοχή έρευνας. Το σύγκλινο της Μεσογαίας είναι παράλληλο με το αντίκλινο του Υμηττού με την ίδια ΒΑ-ΝΔ/κή διεύθυνση. Μόνο η λεκάνη της Μεσογαίας βρίσκεται σε χερσαία περιοχή. Το βορειοανατολικό τμήμα του σύγκλινου αναπτύσσεται στον Ευβοϊκό κόλπο, ενώ στα νοτιοανατολικά, περιοχή Μερέντας, τα ανθρακικά μέλη του εμφανίζονται στην

επιφάνεια. Στην περιοχή Μαρκοπούλου τα ανθρακικά μέλη εντοπίζονται σε βάθος >100 μ. αποκαλύπτοντας την ύπαρξη ενός εκτενούς καρστικού εγκύλου. Το σύγκλινο της Μεσογαίας παρουσιάζει έντονη ρηγματογενή τεκτονική που εκδηλώνεται με ρήγματα ΒΑ-ΝΔ/κής και ΒΔ-ΝΑ/κής διεύθυνσης. Οι διαδοχικές γενέσεις ρηγμάτων αποκόλλησης που έλαβαν χώρα κατά τη διάρκεια του Νεογενούς, προκάλεσαν την εκταφή των μεταμορφωμένων πετρωμάτων της Αττικής και την πλήρωση των λεκανών με ιζήματα. Το ρήγμα αποκόλλησης των Μεσογείων διαχωρίζει τα μεταμορφωμένα πετρώματα του Πεντελικού όρους από τα άνω μειοκαινικά – μεταμειοκαινικά ιζήματα της λεκάνης Μεσογείων. Το ρήγμα αυτό ήταν ενεργό μετά το Άνω Μειόκαινο συντελώντας στον ταχύ σχηματισμό του αναγλύφου και τη διάβρωση των μεταμορφωμένων πετρωμάτων της Πεντέλης.

Εντός των σύγχρονων τεταρτογενών αποθέσεων, στις οποίες συγκαταλέγονται τα ριπίδια, τα πλευρικά κορήματα και τα πληρώματα κοιλάδων συντηρείται φρεάτιος υδροφόρος με περιορισμένη δυναμικότητα, λόγω της επιβραδυντικής συμπεριφοράς των πηλών και των αργίλων. Η κατά τόπους παρουσία των σχιστόλιθων και των μαργαϊκών σχηματισμών αποτελούν το στεγανό υπόβαθρο του φρεάτιου υδροφορέα. Ο εμπλουτισμός του συντελείται με άμεση διήθηση των όμβριων υδάτων σε όλη την επιφάνεια εξάπλωσης των προσχώσεων, με πλευρικές μεταγίσεις των συμπαγών πετρωμάτων και των νεογενών σχηματισμών και από τα κύρια επιφανειακά ρέματα σε περιόδους υδρορροής. Ο φρεάτιος ορίζοντας εκμεταλλεύεται από σημαντικό αριθμό πηγαδιών για τις αγροτικές καλλιέργειες.

Η ευρεία ανάπτυξη των Νεογενών σχηματισμών, οι οποίοι αποτελούνται από εναλλαγές μαργών, μαργαϊκών ασβεστόλιθων, ψαμμιτών και αργίλων, δηλαδή εναλλαγές υδροστεγανών και υδροπερατών πετρωμάτων, παρέχουν την δυνατότητα δημιουργίας τοπικά ελεύθερων και υπό πίεση υδροφόρων οριζόντων μέτριας δυναμικότητας. Εντοπίζονται μικρές πηγές επαφής, χαμηλών παροχών, μέσω των οποίων γίνεται η εκτόνωση των ανώτερων υδροφόρων οριζόντων. Οι σχιστόλιθοι του μεταμορφωμένου υποβάθρου, που χαρακτηρίζονται ως αδιαπέρατοι σχηματισμοί, δημιουργούν το στεγανό υπόστρωμα και ρυθμίζουν τοπικά την κυκλοφορία του υπόγειου νερού. Η εκτόνωση των νεογενών υδροφορέων συντελείται προς την παράκτια ζώνη. Ο αβαθής υδροφορέας υφίσταται εντατική εκμετάλλευση, μέσω πηγαδιών και γεωτρήσεων, κυρίως για την άρδευση της περιοχής και των βιοτεχνικών μονάδων που βρίσκονται στην περιοχή. Οι παροχές των πηγαδιών δεν υπερβαίνουν τα 5 m<sup>3</sup>/h, ενώ στις γεωτρήσεις κυμαίνονται από 15-35 m<sup>3</sup>/h.

Εντός των ανθρακικών σχηματισμών αναπτύσσεται ένας κατώτερος καρστικός υδροφόρος ορίζοντας υψηλής δυναμικότητας. Η υδρολογική τους συμπεριφορά παρουσιάζει λιθολογική και καρστική ομοιογένεια. Η μεταβιβαστικότητα τους είναι ιδιαίτερα υψηλή λόγω της έντονης ρηγματώσεως του υδροφορέα. Οι αποδόσεις των γεωτρήσεων είναι αρκετά υψηλές και κυμαίνονται μεταξύ 100 και 300 m<sup>3</sup>/h. Γενικά ο καρστικός υδροφορέας εκφορτίζεται υποθαλάσσια στον Ευβοϊκό κόλπο. Κατά μήκος των ακτών μεταξύ Πόρτο-Ράφτη και Αρτέμιδας εντοπίζονται σε πολλά σημεία μικρές υποθαλάσσιες αναβλύσεις που μαρτυρούν την έξοδο του καρστικού νερού στον υποθαλάσσιο χώρο.

Η έντονη εκμετάλλευση των υδροφορέων της περιοχής έχει συντελέσει στην ποιοτική υποβάθμιση τους με κύριο χαρακτηριστικό γνώρισμα την αύξηση της αλατότητας. Αυτή σχετίζεται στην παράκτια ζώνη με τη διείσδυση της θάλασσας, ενώ στην ενδοχώρια περιοχή συμβάλλουν κυρίως γεωλογικοί παράγοντες, καθώς και ανθρωπογενείς επιδράσεις.

Η διερεύνηση των ποιοτικών χαρακτηριστικών των εδαφών, των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων αποτέλεσε το κύριο αντικείμενο έρευνας της παρούσας

εργασίας. Βασικός στόχος υπήρξε η συλλογή σημαντικών πληροφοριών που αφορούν την ποιοτική κατάσταση τους, τις αλληλοεπιδράσεις τους, τις πηγές επιβάρυνσης τους και την καταλληλότητα των υδάτων της περιοχής, επιφανειακών και υπόγειων, για διάφορες χρήσεις.

Τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά των εδαφών φανερώνουν αλκαλικά, άγονα εδάφη, επιρρεπή στη διάβρωση, με χαμηλά ποσοστά οργανικής ουσίας και υψηλές τιμές φωσφόρου και ποσοστών αζώτου.

Η επικράτηση χονδρόκοκκων κλασμάτων της άμμου (αμμοπηλώδη και αμμοαργιλοπηλώδη εδάφη) αποδεικνύει την εύκολη έκπλυση των ρυπαντικών στοιχείων προς τον υπόγειο υδροφόρο. Οι τιμές του λόγου (άμμος + ύψς)/άργιλος είναι χαμηλές δείχνοντας επιρρεπή εδάφη στη διάβρωση που έχει προκληθεί από την αποψίλωση των δασών λόγω των πυρκαγιών, από την υπερβόσκηση των λιβαδιών και κυρίως από τις λάθος καλλιεργητικές τεχνικές όπως οι μονοκαλλιέργειες, η άρδευση με υφάλμυρα νερά, η εντατική εφαρμογή αγροχημικών κλπ.

Υψηλά ποσοστά ισοδύναμου  $\text{CaCO}_3$  παρατηρούνται στο δυτικό και νοτιοανατολικό τμήμα, όπου εμφανίζονται τα ανθρακικά πετρώματα, μάρμαρα κι ασβεστόλιθοι. Το χαμηλό ποσοστό οργανικής ουσίας συνδυάζεται με χαμηλές τιμές του δείκτη C/N στον καλλιεργούμενο κάμπο Μεσογείων, φανερώνοντας εδάφη χαμηλής γονιμότητας, λόγω της χρόνιας εντατικής καλλιέργειας. Η σχέση ΙΑΚ-αργίλου είναι γραμμική κι αποδίδεται στην ικανότητα συγκράτησης στοιχείων και κατιόντων στην αργιλική φάση του εδάφους. Οι χωρικές κατανομές των ανταλλάξιμων κατιόντων παρουσιάζουν ομοιότητες με τις μέγιστες τιμές να εμφανίζονται στο δέλτα του Ερασίνου και πλησίον κτηνοτροφικής μονάδας. Τα ανταλλάξιμα στοιχεία Na παρουσιάζουν υψηλότερες συγκεντρώσεις στην παράκτια ζώνη, λόγω της εναπόθεσης θαλάσσιου αερολύματος στα εδάφη και της υψηλής στάθμης του υφάλμυρου, παράκτιου υδροφόρου.

Τα ποσοστά αζώτου είναι σχετικά υψηλά. Οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις εμφανίζονται στον καλλιεργούμενο κάμπο των Μεσογείων, κάτι που αποδίδεται σε προσθήκη αζωτούχων λιπασμάτων και κοπριάς. Ο φώσφορος στα εδάφη παρουσιάζει μεγάλο εύρος τιμών. Οι υψηλότερες τιμές ποσοστού οργανικής ουσίας, αζώτου και συγκεντρώσεων φωσφόρου παρατηρούνται πλησίον του δέλτα του Ερασίνου. Γενικά τα εδάφη της εκβολής του Ερασίνου παρουσιάζουν υψηλές συγκεντρώσεις στα περισσότερα στοιχεία που εξετάστηκαν λόγω της μεταφοράς κι εναπόθεσης φερτών υλικών στο δέλτα.

Οι τιμές του Βαθμού Κορεσμού με Βάσεις είναι αρκετά υψηλές λόγω της επικράτησης των ξηροθερμικών συνθηκών κλίματος και των αλκαλικών εδαφών.

Οι υδατοδιαλυτές μορφές των βαρέων μετάλλων Zn, Cd, Ni, Co, Pb και Cr που προσδιορίστηκαν είναι σε πολύ χαμηλές έως μηδενικές τιμές, ενώ τα στοιχεία Fe, Cu και Mn χαρακτηρίζονται από υψηλές συγκεντρώσεις. Η δυνατότητα έκπλυσής τους συμβάλλουν προφανώς στον εμπλουτισμό των επιφανειακών και υπόγειων νερών της περιοχής έρευνας. Οι ανταλλάξιμες μορφές παρουσιάζουν υψηλές συγκεντρώσεις στα βαρέα μέταλλα Fe, Mn και Cu. Οι δεσμευμένες μορφές των βαρέων μετάλλων στις ανθρακικές και οργανικές ενώσεις και στα οξείδια Fe & Mn παρουσιάζουν πολύ υψηλές συγκεντρώσεις στα στοιχεία Cu, Fe, Mn, Pb και Zn. Η κατά τόπους έντονη παρουσία των στοιχείων αυτών στις προαναφερόμενες μορφές σχετίζεται σε μεγάλο ποσοστό με ανθρωπογενείς επιδράσεις, όπως χρήση λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων, απόβλητα κτηνοτροφιών, βιομηχανιών και αστικών αποβλήτων.

Οι δεσμευμένες μορφές Fe στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών παρουσιάζουν υπερβολικά υψηλές συγκεντρώσεις με μεγάλη απόκλιση από αυτές των υπόλοιπων προσδιορισθέντων βαρέων μετάλλων. Την δεύτερη θέση καταλαμβάνουν οι

συγκεντρώσεις Mn. Οι τιμές αυτές αποδίδονται στην ύπαρξη των οξειδίων Fe και Mn, κάτι που επιβεβαιώνεται και από τα καστανοκόκκινα εδάφη της περιοχής έρευνας. Οι δεσμευμένες μορφές Zn, Pb και Cu στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών αποδίδονται κυρίως στην έντονη παρουσία των σχιστόλιθων και στις κατά τόπους μικρές εμφανίσεις των μικτών θειούχων ορυκτών. Οι δεσμευμένες μορφές Ni και Cr στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών αποδίδονται στην ύπαρξη οφιολίθων και των προϊόντων εξαλλοίωσης αυτών. Τα βαρέα μέταλλα Cd και Co απαντώνται με τις χαμηλότερες συγκεντρώσεις.

Η παραγοντική ανάλυση των φυσικοχημικών παραμέτρων των εδαφών έδειξε την συνύπαρξη του φωσφόρου, του αζώτου και της οργανικής ουσίας με τα βαρέα μέταλλα Zn, Cd και Pb, γεγονός που σχετίζεται με την ικανότητα της οργανικής ουσίας να δεσμεύει τον φώσφορο και τα βαρέα μέταλλα, την έντονη παρουσία των προϊόντων διάλυσης και εξαλλοίωσης των οφιολίθων (συνύπαρξη Cr και Ni) και την απουσία γονιμότητας στον καλλιεργούμενο κάμπο (χαμηλές τιμές ποσοστών οργανικής ουσίας και δείκτη C/N).

Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των υπόγειων υδάτων αξιολογήθηκαν βάσει της συλλογής 86 δειγμάτων, 65 από πηγάδια, 18 από γεωτρήσεις και 3 από πηγές σε τέσσερις περιόδους, μία ξηρή και μία υγρή κατά το υδρολογικό έτος 2005-2006 καθώς και δύο επαναληπτικές, μία ξηρή και μία υγρή κατά το επόμενο υδρολογικό έτος 2006-2007. Συνολικά συλλέχθηκαν και αξιολογήθηκαν 172 δείγματα από την περιοχή έρευνας. Για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων έγινε διαχωρισμός με βάση τους λιθολογικούς σχηματισμούς προέλευσης των υπόγειων νερών ήτοι: 15 ύδατα από τους τεταρτογενείς σχηματισμούς, 51 από νεογενείς σχηματισμούς και 20 από ανθρακικούς σχηματισμούς. Τα ύδατα των τεταρτογενών και νεογενών σχηματισμών παρουσιάζουν παρεμφερή χημική σύσταση, με υψηλές τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας, ολικών διαλυμένων αλάτων και συγκεντρώσεων των ιόντων  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  και  $\text{SO}_4^{2-}$ , τα οποία σχετίζονται με την διάλυση υπολειμματικών εβαποριτικών αλάτων. Τα ύδατα των ανθρακικών σχηματισμών παρουσιάζουν καλύτερη ποιότητα, με χαμηλότερες τιμές EC, TDS και συγκεντρώσεων των ιόντων  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  και  $\text{SO}_4^{2-}$ . Τα ύδατα της παράκτιας ζώνης παρουσιάζουν υψηλές τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας και συγκεντρώσεων των ιόντων  $\text{Na}^+$  και  $\text{Cl}^-$ , λόγω της θαλάσσιας διείσδυσης στον υδροφόρο που προκύπτει από την υπεράντληση αυτού. Υψηλές συγκεντρώσεις ιόντων  $\text{NO}_3^-$  βρέθηκαν στα υπόγεια νερά που στην πλειοψηφία τους ξεπερνούν το ανώτατο όριο ποσιμότητας σύμφωνα με τις οδηγίες 80/778 και 90/83 της Ε.Ε. Η παρουσία τους είναι ανθρωπογενής και αποδίδεται στην υπέρμετρη εφαρμογή αζωτούχων λιπασμάτων και οργανικής ύλης στον ιστορικό κάμπο των Μεσογείων. Η απουσία αποχετευτικού συστήματος αντικατοπτρίζεται στις υψηλές συγκεντρώσεις ιόντων  $\text{NH}_4^+$  και  $\text{PO}_4^{3-}$  και  $\text{SO}_4^{2-}$ , με τις υψηλότερες συγκεντρώσεις να εντοπίζονται πλησίον των αστικών περιοχών. Την υγρή περίοδο τα στοιχεία  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  και  $\text{NH}_4^+$  παρατηρούνται αυξημένα, συγκριτικά με την αντίστοιχη ξηρή, λόγω της έκπλυσης των ρυπαντικών στοιχείων με το βρόχινο νερό. Τα ιόντα  $\text{Na}^+$  και  $\text{Cl}^-$  καθώς κι η ηλεκτρική αγωγιμότητα παρατηρούνται επίσης αυξημένα την υγρή περίοδο στην παράκτια ζώνη, λόγω του εμπλουτισμού του υδροφόρου με θαλασσινό νερό.

Ο στατιστικός έλεγχος των δύο μέσων μεταξύ των δύο ξηρών περιόδων (2005 και 2006) και των δύο υγρών περιόδων (2006 και 2007) έδειξε μη σημαντικές διαφορές στα στοιχεία  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  σε επίπεδο σημαντικότητας 5% ( $\alpha=0,05$ ), κάτι που υποδηλώνει τη γεωγενή προέλευση αυτών. Στατιστικά μη σημαντική διαφορά των δύο μέσων ( $\alpha=0,05$ ) παρουσιάζεται στα στοιχεία  $\text{NH}_4^+$  και  $\text{PO}_4^{3-}$ , αντικατοπτρίζοντας την προέλευσή τους από σταθερές ανθρωπογενείς

δραστηριότητες. Οι δύο μέσοι των  $\text{SO}_4^{=}$  δεν παρουσιάζουν στατιστικά σημαντική διαφορά ( $\alpha=0,05$ ), ενώ της υγρής περιόδου παρουσιάζουν διαφορά, κάτι που υποδηλώνει την προέλευση αυτών των ιόντων, εκτός της διάλυσης των υπολειμματικών εβαποριτικών αλάτων, αλλά και από την έκπλυση θειούχων σκευασμάτων φυτοφαρμάκων και λιπασμάτων. Η διαφορά των δύο μέσων των νιτρικών ιόντων δεν είναι στατιστικά σημαντική ( $\alpha=0,05$ ), κάτι που συνδέεται με τη χρόνια εφαρμογή αζωτούχων λιπασμάτων και οργανικής ύλης στις καλλιέργειες του κάμπου Μεσογείων.

Η παραγοντική ανάλυση στα υπόγεια νερά συνδέει τα στοιχεία  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  και τα βαρέα μέταλλα Sr, Cu, Cd, Ni και Mn με γεωγενή προέλευση, ενώ τα στοιχεία  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$  και  $\text{SO}_4^{=}$  με ανθρωπογενή προέλευση. Η συνύπαρξη των στοιχείων  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  και  $\text{SO}_4^{=}$  επιβεβαιώνει την θαλάσσια διείσδυση στην παράκτια ζώνη.

Τα βαρέα μέταλλα στα υπόγεια ύδατα, με εξαίρεση το κοβάλτιο, βρέθηκαν σε υψηλές συγκεντρώσεις, αποδιδόμενα κυρίως σε γεωγενείς παράγοντες. Η γεωγενής προέλευση των βαρέων μετάλλων συνδέεται με την παρουσία των οξειδίων, τα οποία προέρχονται από την διάβρωση των ανθρακικών πετρωμάτων, με την ύπαρξη προφανώς μικτών θειούχων ορυκτών που συνυπάρχουν εντός των οφιολιθικών σωμάτων του δυτικού τμήματος, καθώς και από την παρουσία των σχιστόλιθων στο γεωλογικό υπόβαθρο της περιοχής. Οι κατά τύπους διαφοροποιήσεις σχετίζονται σε μικρό ποσοστό με ανθρωπογενείς δραστηριότητες, όπως η εφαρμογή αγροχημικών στις καλλιέργειες, η χρήση οργανικής ύλης για την λίπανση των εδαφών και η διαρροή αστικών και βιοτεχνικών αποβλήτων.

Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των επιφανειακών υδάτων, του Ερασίνου και του Μεγάλου Ρέματος αξιολογήθηκαν βάσει της εποχικής συλλογής δειγμάτων κατά μήκος των ρεμάτων, τρία (3) σημεία δειγματοληψίας από τον Ερασίνο και πέντε (5) σημεία δειγματοληψίας απ' το Μεγάλο Ρέμα, καθώς επίσης από τις μηνιαίες δειγματοληψίες στις εκβολές των δυο ρεμάτων. Συνολικά συλλέχθηκαν και αξιολογήθηκαν 36 δείγματα επιφανειακών νερών από τα δυο υδρορέματα.

Στο Μεγάλο Ρέμα παρατηρήθηκε διαφοροποίηση της χημικής σύνθεσης μεταξύ του κύριου κλάδου και του δευτερεύοντα Βαλανήρη. Η αλατότητα και οι συγκεντρώσεις των στοιχείων Na, Cl,  $\text{SO}_4$  και  $\text{NO}_3$  παρατηρήθηκαν μειωμένες στον Βαλανήρη, λόγω του κρυσταλλοσχιστώδους γεωλογικού υποβάθρου, σχιστόλιθοι και μάρμαρα της Πεντέλης, και κυρίως των περιορισμένων ανθρωπογενών επιδράσεων στην λεκάνη απορροής του. Τα νιτρικά ιόντα παρατηρούνται αυξημένα στα σημεία του κεντρικού τμήματος του κύριου κλάδου, λόγω της εφαρμογής αζωτούχων λιπασμάτων στις εκατέρωθεν καλλιέργειες. Οι συγκεντρώσεις μειώνονται οδεύοντας προς την εκβολή λόγω διαδικασιών καθίζησης, ίζηματογένεσης ή και απορρόφησης από το οργανικό υλικό. Στην εκβολή παρατηρούνται αυξημένες συγκεντρώσεις  $\text{PO}_4^{3-}$ , λόγω της εισροής αστικών λυμάτων και υψηλές συγκεντρώσεις  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  και  $\text{SO}_4^{=}$ , λόγω μεταφοράς θαλάσσιου αερολύματος. Οι υψηλές συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων σχετίζονται κυρίως με τη διαρροή αστικών λυμάτων και αποβλήτων ελαφρών βιομηχανιών στα επιφανειακά ύδατα. Η μόνιμη ροή του κύριου κλάδου, ακόμη και τους άνομβρους μήνες ενισχύει την εισροή αποβλήτων στο Μεγάλο Ρέμα.

Τα ύδατα του Ερασίνου παρουσιάζουν υψηλότερη αλατότητα απ' την αντίστοιχη του Μεγάλου Ρέματος. Η ύπαρξη υψηλών συγκεντρώσεων  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{NH}_4^+$  και  $\text{NO}_3^-$  στ' ανάντη σημεία του υδρορέματος υποδηλώνουν την έντονη υποβάθμιση του από ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Το υψηλό ολικό φορτίο μεταφοράς φωσφορικών, νιτρικών κι αμμωνιακών ιόντων στις εκβολές του Ερασίνου και του Μεγάλου Ρέματος αντικατοπτρίζεται στην ευτροφική κατάσταση που παρατηρείται στους κόλπους της Βραυρώνας και Ραφήνας.

Η παραγοντική ανάλυση στα επιφανειακά ύδατα έδειξε ότι το μεγαλύτερο ποσοστό της ολικής διακύμανσης εξηγούν ομάδες παραγόντων που συνδέονται με γεωγενείς παράγοντες όπως διάλυση ασβεστόλιθων, εβαποριτών, σχιστόλιθων και οφιόλιθων. Μόλις το 17% της ολικής διακύμανσης εξηγείται από ανθρωπογενείς δραστηριότητες.

Με βάση το διάγραμμα Piper τα υπόγεια νερά, στην πλειοψηφία τους, κατατάσσονται στην ομάδα των γαιοαλκαλικών-θεικών νερών με υψηλό ποσοστό αλκαλίων, ενώ υπάρχουν και πολλά νερά στην κατηγορία των χλωροθεικών και γαιοαλκαλικών-οξυανθρακικών νερών με υψηλό ποσοστό αλκαλίων. Τα νερά της παράκτιας ζώνης ανήκουν στην πλειοψηφία τους στην ομάδα των αλκαλικών-χλωροθεικών νερών.

Με βάση το διάγραμμα Durov διακρίνονται οι ακόλουθες φάσεις υδροχημικής εξέλιξης: Ca-HCO<sub>3</sub>, Mg-HCO<sub>3</sub>, Na-HCO<sub>3</sub>, Na-Cl, Mg-Cl και Ca-Cl. Στα περισσότερα δείγματα των υπόγειων νερών, από την πλευρά των ανιόντων κυριαρχούν τα οξυανθρακικά HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> και από την πλευρά των κατιόντων το Ca<sup>2+</sup> και το Mg<sup>2+</sup>, δηλώνοντας φρέσκα νερά φυσικής αναπλήρωσης που κατά την κατείσδυσή τους διαλύουν ανθρακικά ορυκτά. Στα νερά κυρίως της παράκτιας ζώνης κυριαρχούν τα ιόντα Na<sup>+</sup> και Cl<sup>-</sup>, φανερώνοντας την υφαλμύριση αυτών λόγω της γειννίας με την θάλασσα. Τα νερά της ενδοχωρικής ζώνης, τα οποία παρουσιάζονται στο πεδίο με την επικράτηση των χλωριόντων, φανερώνουν την επιρροή των πετρωμάτων του γεωλογικού υποβάθρου της περιοχής (υπολειμματικά άλατα εβαποριτών εντός των Νεογενών σχηματισμών) στη διαμόρφωση της χημικής τους σύστασης.

Κατά τη μετάβαση από την ξηρή στην υγρή περίοδο η κατανομή των υδροχημικών ομάδων στα διάφορα πεδία του διαγράμματος Durov παραμένει ως επί το πλείστον η ίδια. Μικρός αριθμός δειγμάτων της παράκτιας ζώνης μεταβαίνουν σε πεδία που μαρτυρούν την αύξηση των χλωριόντων λόγω διείσδυσης θαλασσινού νερού, ενώ στα δείγματα της ενδοχωρικής ζώνης που μεταβαίνουν σε άλλα πεδία υποδηλώνουν τις διάφορες γεωχημικές διαδικασίες κατιοανταλλαγής και αντίστροφης κατιοανταλλαγής. Οι εποχικές μεταβολές εντοπίζονται κυρίως στους ανώτερους υδροφορείς που εκμεταλλεύονται από πηγάδια και αβαθείς γεωτρήσεις, ενώ στους βαθύτερους ορίζοντες που εκμεταλλεύονται από βαθιές γεωτρήσεις δεν παρουσιάζονται έντονες ποιοτικές διαφοροποιήσεις.

Η υψηλή αλατότητα που παρουσιάζουν τα υπόγεια νερά της περιοχής τα καθιστά ακατάλληλα για υδρευτικούς σκοπούς, όπως αυτό προκύπτει από τα πρότυπα καταλληλότητας πόσιμου νερού της οδηγίας 80/778 και 98/83 της Ε.Ε.

Με τη βοήθεια των μεθόδων Richards και Wilcox η πλειοψηφία των νερών της περιοχής κατατάσσονται στα νερά μέσης ποιότητας. Τα υπόγεια ύδατα της παράκτιας ζώνης είναι κακής ποιότητας κι ακατάλληλα για άρδευση.

Η διερεύνηση τυχόν συσχέτισης μεταξύ των αποτελεσμάτων των υδροχημικών και των εδαφικών αναλύσεων δεν αποδείχθηκε στατιστικά, ωστόσο έδειξε ομοιότητες στις χωρικές κατανομές των στοιχείων Mg και Ca, υποδηλώνοντας την γεωγενή προέλευση αυτών. Η ομοιότητα που παρατηρείται στα ιόντα νατρίου με αυξητικές τάσεις προς την παράκτια ζώνη αποδίδεται σε θαλάσσια διείσδυση στον υδροφόρο, σε υψηλή στάθμη του υφάλμυρου υδροφόρου και σε εναπόθεση θαλάσσιου αερολύματος στα εδάφη. Οι συγκεντρώσεις των νιτρικών ιόντων στα υπόγεια νερά, και το ποσοστό αζώτου (N%) στα εδάφη παρουσιάζουν αυξητικές τάσεις προς το κεντρικό-δυτικό τμήμα, όπου επικρατούν οι καλλιέργειες του Κορωπίου, λόγω εφαρμογής αζωτούχων λιπασμάτων και κοπριάς στις καλλιέργειες. Ομοιότητα παρατηρείται και μεταξύ των χωρικών κατανομών κάποιων βαρέων μετάλλων των υπόγειων υδάτων και των αντίστοιχων δεσμευμένων μορφών στο πλέγμα των



πρωτογενών ορυκτών. Τα περισσότερα βαρέα μέταλλα παρουσιάζουν αυξητικές τάσεις προς το δυτικό και νότιο τμήμα της περιοχής έρευνας, που σχετίζονται με την ανάπτυξη των σχιστόλιθων και την κατά τόπους μικρές εμφανίσεις διαφόρων οξειδίων, των μικτών θειούχων ορυκτών και των οφιολιθικών σωμάτων. Η απουσία συσχέτισης στις χωρικές κατανομές των περισσοτέρων βαρέων μετάλλων μεταξύ των υπόγειων νερών και των αντίστοιχων υδατοδιαλυτών μορφών των εδαφών, επιβεβαιώνει τη γεωγενή προέλευση των βαρέων μετάλλων στα υπόγεια νερά.

Από την διερεύνηση της μελλοντικής κατάστασης της περιοχής έρευνας βάσει των παγκόσμιων κλιματικών σεναρίων, προκύπτει ο κίνδυνος εμφάνισης ερημοποίησης με ιδιαίτερα υψηλές θερμοκρασίες τους θερινούς μήνες, μείωση των αποθεμάτων νερού στους υδροφόρους, υποβάθμιση της ποιότητας των υπόγειων κι επιφανειακών υδάτων, υποβάθμιση των εδαφικών πόρων κι άνοδο της θαλάσσιας στάθμης με άμεσες επιπτώσεις στην παράκτια ζώνη.

**Περιοχή έρευνας:** Λεκάνη Μεσογείων, Ανατολική Αττική.

**Λέξεις κλειδιά:** Γεωχημική έρευνα εδαφών, ποιοτική σύσταση επιφανειακών και υπόγειων υδάτων, βαρέα μέταλλα, υδρολογικό ισοζύγιο.

## ABSTRACT

The present thesis deals with the quality characteristics of groundwater, surface water and soils in Mesogeia area of East Attica (Greece) as well as with the estimation of the hydrological balance of the two basins: Erasinos and Megalo Rema. The objective of the research is the study of the physical and anthropogenic impacts on the modification of the water and soil quality of the area.

The study area is located in the Eastern part of Attica county and lies between latitudes  $37^{\circ}55'$  and  $37^{\circ}95'$  and longitudes  $23^{\circ}55'$  and  $24^{\circ}10'$ . The physiographic bounds are the watershed of Penteli Mountain at North, the watershed of Hymettus Mountain at West, the watersheds of "Merenta" and "Koryfi" hills at South and the coastline Rafina-Artemis-Porto Rafti at East. The relief is smooth at the central part, where the cultivated plain comes along and more intense at North and West where the mountains Penteli and Hymettus develop, with maximum heights 940 and 1026 meters correspondingly.

The hydrographic network consists of the hydrological basins of "Erasinos" and "Megalo Rema" at the Northern and Southern part correspondingly. The common bound of the two basins expands from Hymettus downhill in Glyka Nera to Artemis Gulf. Erasinos River consists of one major branch which presents no flow during the dry period and discharges in Vravra or Vraona Gulf, in a Delta area, being part of protected "Natura 2000" zone. Erasinos flows through neogen and quaternaries' deposits. Megalo Rema River consists of two major branches, the homonymous which flows from the Northeastern downhill of Hymettus and "Valaniris" which originates from the South downhill of Penteli, joining in the main branch at Pikermi. Megalo Rema River presents permanent flow while Valaniris presents seasonally fluctuant flow during the dry months. The North feeders of Valaniris flow through crystalline-schist of Penteli while the South ones flow through neogen and quaternaries formations. The major part of Megalo Rema present 1<sup>st</sup> to 7<sup>th</sup> order branches of hydrographic network. The hydrographic network is moderately developed with parallel, angular and dendritic patterns.

The rousing development of the area gave rise to a demographic blowup and a conversion from the inveterate primary section to the tertiary section. The flora consists of *Pinus Halepensis* and bushy plants. The major lands in the area are sustained to agriculture with the olive and vine trees as the prevailing crops. In the future, it is forecasted that the subsistent cultivated areas will convert to residential and industrial zones, due to the increasing land demand.

The climate of the area is characterized by low precipitation and high temperatures during the summer, trending the dry-warming climate of the greater area. Precipitation is low even during the winter months, something that bounds the aquifer enhancement.

The hydrological balance estimation of the two hydrological basins, concerning the hydrological year 2005-2006 was based on weekly measurements of the Erasinos and Megalo Rema flow in spots near the outfall. The average annual volume of precipitation comes up to  $87.491,98 \cdot 10^3 \text{ m}^3$  in Erasinos basin and  $69.027,2 \cdot 10^3 \text{ m}^3$  in Megalo Rema basin which correspond to 431,42mm of atmospheric precipitation distributed in the whole area of the hydrological basin.

In the hydrological basin of Megalo Rema, the average volume of surface effluence comes up to  $19.360 \cdot 10^3 \text{ m}^3$  which correspond to 121,4mm distributed in the whole area of the basin or to 28,14% rainwater percentage. The average annual volume of water that infiltrates to the aquifers amounts to  $8.947,2 \cdot 10^3 \text{ m}^3$  which

correspond to 55,92mm distributed in the whole area of the basin or to 12,87% rainwater percentage and the average annual volume of water that evapotranspires comes up to  $40.720 \cdot 10^3 \text{ m}^3$  which correspond to 254,5mm distributed in the whole area of the basin or to 58,99% rainwater percentage.

In the hydrological basin of Erasinos the average volume of surface effluence comes up to  $11.458,2 \cdot 10^3 \text{ m}^3$  which correspond to 56,5mm distributed in the whole area of the basin or to 13,1% rainwater percentage. The average annual volume of water that infiltrates to the aquifers amounts to  $24.421,18 \cdot 10^3 \text{ m}^3$  which correspond to 120,42mm distributed in the whole area of the basin or to 27,91% rainwater percentage the average annual volume of water that evapotranspires amounts to  $51.612,6 \cdot 10^3 \text{ m}^3$  which correspond to 254,5mm distributed in the whole area of the basin or to 58,99% rainwater percentage.

From Geotectonic point of view, the area comprises a part of the Attico-Cycladic mass. The geological bedrock is structured by a big thickness of Mesozoic up to Mesoiocenic carbonate formations, limestone, dolomites and marbles, with intercalations of schist and marble layers of significant thickness. Penteli's mass is structured by schist and marbles. In the geological structure of Hymettus are taking part the Upper and Lower Marble, the Kaisariani Schist and the Pynari's dolomites. At Hymettus foot, tiny ophiolitic bodies are occurred. The Upper-Cretedec limestone is developed over the ophiolitic bodies, intensively smashed and karsted, at the base of which small oxide bodies occur into the cracks and the karstic concaves, which apparently derive from the carbonate rocks' erosion. At the roof of the ophiolitic bodies, limited occurrence of mixed sulfide minerals are localized, deriving from these volcanic rocks' erosion.

In the biggest part of the area the neogen and quaternary deposits and formations are developed. The neogen formations consist of limestone, marls, sandstones and conglomerates while the quaternaries consist of diluvial formations, talus cones, scree and alluvial deposits comprising of limestone, sandstones and marly materials, loams, clays, gravels and sands. Between Rafina and Pikermi there are detected deposits of lignite with locally total depth over 6 meters. Into the marly formations there are regionally located tiny layers of lignitic horizons.

The tectonic medium of the greater area is characterized by the anticline Hymettus-Parnitha-Marathonas development, whose axis has NE-SW direction. At the Eastern part of this anticline structure, the syncline of Mesogeia is developed, a part of which consists the area in issue. The Mesogeia syncline is parallel to the anticline of Hymettus with the same NE-SW direction. Only Mesogeia basin is found in terrestrial area. The North-Eastern part of this syncline is developed in Euboea Gulf while in Southeast, in Merenta area, the carbonate pieces are occurred on the surface. In Markopoulo area, the carbonate pieces are found in depth >100m. revealing the existence of a thorough karstic concave. The Mesogeia syncline presents an intense faulting tectonic which is coming up with NE-SW and NW-SE faulting trends. The sequential origins of separation faults which took place during the Neogen brought out the exhumation of the metamorphosed rocks of Attica and the fulfillment of the basins with sediments. The separation fault of Mesogeia cuts the metamorphosed sediments of Penteli mountain off the Upper Miocene and After-Miocene sediments of Mesogeia basin. This fault was active after the Upper Miocene, contributing to the rapid formation of the relief and the erosion of the metamorphosed rocks of Penteli.

Within the current quaternary deposits in which the fans, the talus cones and scree and the fulfillments of the valleys are taking in, there is subsisted a phreatic aquifer with limited capacity, due to the retardant behavior of the loams and clays. The

locally occurrence of schist and marly formations comprise the sealed background of the phreatic aquifer. The fulfillment which takes place with direct infiltration of the rainwater in the whole area where the illuviations expand, with side decantation of the massive rocks and the neogen formations and with the major rivers in flow periods. The phreatic aquifer is being exploited by a significant number of wells for crops' irrigation.

The wide development of the Neogen formations which consist of rotation of marls, marly limestone, sandstones and clays that is rotation of water-impermeable and water-permeable rocks, give the capability of formation of confined and unconfined aquifers of medium capacity. There are located small contact springs with low flow in which the defuse of the upper aquifers take place. The schist of the metamorphosed bedrock which are characterized as water-impermeable formations, set up the impermeable bedrock and locally control the circulation of the groundwater. The expansion of the neogen aquifers is taking place towards the coastal zone. The shallow aquifer is suspended to intense exploitation by wells and boreholes, mainly for the crops' irrigation and the small industries' water supply in the area. The wells' flow doesn't exceed the 5 m<sup>3</sup>/h, while in the boreholes, flows value between 15-35 m<sup>3</sup>/h.

Within the carbonate formations, a lower karstic aquifer of high capacity is developed. Their hydrological behaviour presents lithological and karstic homogeneity. Their transitivity is pretty high due to the intense faulting of the aquifer. The boreholes' refund is very high and values between 100 and 300 m<sup>3</sup>/h. Generally, the karstic aquifer is being submarine discharged into the Euboea Gulf. Along the shores, between Porto Rafti and Artemis, in many spots are located small submarine spouts which indicate the outgo of the karstic water to the submarine area.

The intense exploitation of the study area's aquifers has lead to water deterioration whose main characteristic is its high salinity. This has derived from the sea intrusion in the coastal zone while in the inland zone the salinity is related to geological factors and anthropogenic impacts.

The study of the quality characteristics of soil, surface water and groundwater was the major objective of this Thesis. The basic aim was the collection of significant information about their quality, their interactions, the deterioration's origin and the suitability of the water (surface and groundwater) for different uses.

The physicochemical soil characteristics indicate alkaline, barren soils, susceptible to erosion, with lack of organic matter and high values of phosphorus and nitrogen percentage.

The domination of coarser sand fractions (sand-loamy and sand-clay-loamy soils) establishes the cushy leaching of the pollutant elements into the aquifer. The ratio (sand+ silt)/clay values are low indicating susceptible soils to the erosion, which has derived from the deforestation due to fires occurrence, from the rangeland's overpasturing and mainly from the wrong agriculture techniques as the monoculture, the irrigation with saline water, the intensive agrochemicals' use etc.

High percentage of equivalent CaCO<sub>3</sub> is noticed in the Western and Southeastern part, where the carbonate rocks appear, marbles and limestone. The low organic matter percentage combines with low values of the ratio C/N within the cultivated plain of Mesogeia, revealing soils of low fertility, due to long intensive cultivation. The relation between CEC and clay is linear and is attributed to the argillaceous soil phase capacity of bonding elements. The spatial distributions of the exchangeable elements are relevant, with the maximum values to appear in Erasinós Delta, by a cattle settlement. The values of the exchangeable element Na are higher in the coastal

zone due to the sea spray deposition on soils and due to the high level of the saline, influenced by the sea aquifer.

The nitrogen percentages are relatively high. The higher concentrations are found in the cultivated plain of Mesogeia, a fact that is attributing to nitrogen fertilizers and manure application. The phosphorus of soils presents a wide range of values. The higher percentages of organic matter, nitrogen and phosphorus concentrations were found in Erasinos Delta, due to cattle wastes deposition. The soils in the outfall of Erasinos present high concentrations in the majority of the examined elements due to imported materials transmission and deposition into the Delta.

The Percent Base Saturation values are pretty high due to the occurrence of the dry-warm climate and the alkaline soils.

The water-soluble forms of the examined heavy metals Zn, Cd, Ni, Co, Pb and Cr were determined in pretty low or null values, while the water-soluble forms of the heavy metals Fe, Cu and Mn present high values. Their leaching capacity probably contributes to enriching the surface water and groundwater with these metals. The exchangeable forms of the heavy metals Fe, Mn and Cu present high concentrations as well. The bound forms of the heavy metals Cu, Fe, Mn, Pb and Zn in the carbonate and organic compounds and in Fe & Mn oxides, present extremely high concentrations. The regionally intense presence of these elements in the forenamed forms is overly attributed to anthropogenic actions as the fertilizers and pesticides application, the cattle, industrial and urban wastes.

The residual metals of Fe present extremely high concentrations, diverging from the corresponding determined heavy metals. The next higher residual concentrations are these of Mn. These values are attributed to Iron and Manganese oxides, which are affirmed by the red-brown soils of the area in issue. The residual metals Zn, Pb and Cu are attributed to the schist and the mixed sulfide minerals which occur in the geological bedrock of the area. The residual metals Ni and Cr are attributed to ophiolitic bodies and their vitiation products. The residual metals Cd and Co present the minor concentrations. The mixed sulfide minerals which occur in the greater area, the schist and ophiolites are the major geogenic sources of the soils' heavy metals origin.

The factor analysis of the soil physicochemical parameters indicated the coexistence of Phosphorus, Nitrogen and organic matter with the heavy metals Zn, Cd and Pb, something that is attributed to the organic matter's capacity to bound the phosphorus and the heavy metals, pointed the intense occurrence of dissolution and transmutation ophiolitic products (coexistence of Cr and Ni) and the absence of fertility within the cultivated plain (low organic matter percentage and low values of the ratio C/N).

The groundwater's quality characteristics were analyzed based on the collection of 86 samples, 65 from wells, 18 from boreholes and 3 from springs in four periods, one dry and one wet period during the hydrological year 2005-2006 and two recurrent periods, a dry and a wet one during the next hydrological year 2006-2007. Overall, there were collected and evaluated 172 samples in the area in issue. For the analysis of the results there was a classification based on the groundwater's lithological formations origin, that is: 15 samples from the quaternary formations, 51 from neogen formations and 20 from carbonate formations. The groundwater deriving from the quaternary and neogen formations present similar chemical synthesis, with high values of Electrical Conductivity, Total Dissolved Salts and concentrations of the ions  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  and  $\text{SO}_4^{2-}$ , which are related to the residual evaporitic salts dissolution. The carbonate formations' groundwater presents better quality: lower values of EC, TDS

and concentrations of the ions  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  and  $\text{SO}_4^{2-}$ . The groundwater of the coastal zone present high values of EC and concentrations of the ions  $\text{Na}^+$  and  $\text{Cl}^-$ , due to seawater intrusion into the aquifer which derives from its overpumping. High concentrations of  $\text{NO}_3^-$  were observed in groundwater, which, in the majority of the samples, overcome the upper limit of drinking water according to the E.E. directives 80/778 and 90/83. Their presence has anthropogenic origin and is attributed to inordinate nitrogen fertilizers application and organic material on the crops of the historical plain of Mesogeia. The lack of drainage system is revealed on the high concentrations of  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$  and  $\text{SO}_4^{2-}$ , whose maximum concentrations are located around the urban areas. During the wet period the elements  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  and  $\text{NH}_4^+$  are found in higher concentrations in perspective to the corresponding dry period, due to leaching of the pollutant elements with the rainwater. The ions  $\text{Na}^+$  and  $\text{Cl}^-$  as well as the Electrical Conductivity are also found in higher concentrations the wet period in the coastal zone, due to the aquifer's enrichment with seawater.

The statistical comparison, between the averages of the dry period (2005 and 2006) and the averages of the wet period (2006 and 2007) reflected not significant differences in the elements  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  in 5% level of significance ( $\alpha=0,05$ ), something that indicates the geogenic origin of these elements. Not significant difference between the two averages ( $\alpha=0,05$ ) is found in the elements  $\text{NH}_4^+$  and  $\text{PO}_4^{3-}$ , revealing their origin from stable human activities. The  $\text{SO}_4^{2-}$  averages of the dry period don't present significant difference ( $\alpha=0,05$ ), while the averages of the wet period present difference, indicating the sulfate origin not only from the dissolution of the residual evaporitic salts, but from the leaching of the sulfate pesticides and fertilizers as well. The difference between the two averages of  $\text{NO}_3^-$  is not statistically significant ( $\alpha=0,05$ ), which is related with the long application of nitrogen fertilizers and organic compounds on the crops of Mesogeia plain.

The factor analysis in groundwater associates the elements  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  and the heavy metals Sr, Cu, Cd, Ni and Mn with geogenic origin, while the elements  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$  and  $\text{SO}_4^{2-}$  with anthropogenic origin. The coexistence of the elements  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  and  $\text{PO}_4^{3-}$  confirm the seawater intrusion in the aquifer of the coastal zone.

The heavy metals in groundwater, excluding Co, were found in high concentrations, mainly attributed to geogenic factors. The geogenic origin of the heavy metals is related to the occurrence of oxides, deriving from the carbonate rocks' erosion, to the occurrence of mixed sulfide minerals which coexist within the ophiolitic bodies in the West part of the area as well as to the presence of schist in the geological bedrock of the area. The locally diversifications remotely relate with human activities as the agrochemical implementation on crops, the organic matter usage for fertilizing and the waste leakage into the aquifer in the industrial zones.

The quality characteristics of the surface waters of Erasinos and Megalo Rema rivers were evaluated by the seasonal collection of samples along the rivers, three (3) sample points in Erasinos and five (5) sample points in Megalo Rema and by monthly sampling in the outfalls of the two rivers. There were totally collected and examined 36 samples of surface waters in both rivers.

Within Megalo Rema, variation of the hydrochemistry was observed between the major branch and the secondary one "Valaniris". The salinity and the concentrations of the elements Na, Cl,  $\text{SO}_4$  and  $\text{NO}_3$  were found lower in "Valaniris", due to the crystalline-schist geological bedrock, schist and marbles of Penteli and mainly due to the limited anthropogenic impacts in its basin.  $\text{NO}_3$  are detected in high values in the central part of the major branch, due to the nitrogen fertilizers' application on the both sides crops. The concentrations reduce heading to the outfall due to precipitation,

sedimentation and plankton absorption. At the outfall, there are high concentrations of  $\text{PO}_4^{3-}$ , due to urban wastes' inflow and high concentrations of  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  and  $\text{SO}_4^{2-}$ , attributed to sea spray transmission. The high concentrations of heavy metals indicate mainly relate with the urban wastes' leakage and slight industrial's wastes into the surface water. The abiding flow of the major branch, even during the dry months enforces the fact of wastes' inflow within Megalo Rema.

Erasinos surface water present higher salinity than this of Megalo Rema. High concentrations of  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{NH}_4^+$  and  $\text{NO}_3^-$  uphill of the river reveal the magnitude of the water deterioration by anthropogenic activities. The high total charge of  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{NO}_3^-$  and  $\text{NH}_4^+$  in the outfalls of Erasinos and Megalo Rema are illustrated in the eutrophical condition which is observed in Vravrona and Rafina Gulf.

The factor analysis of surface water indicated that the maximum percentage of the total variance is explained by factor groups related to geogenic impacts as the dissolution of limestone, evaporites, schist and ophiolites. Only 17% of the total variance is explained by anthropogenic activities as the agrochemical implementation, industrial and urban wastes.

According to Piper diagram, the majority of groundwater ranks in the category of geo-alkaline sulfate waters with high percentage of alkali, while many waters belong to the category of chlorine-sulfate and geo-alkaline carbonic acid waters with high percentage of alkali. The majority of the coastal zone's groundwater ranks in the category of alkaline chlorine-sulfate waters.

According to Durov diagram, the following phases of hydrochemical processes are distinguished: Ca- $\text{HCO}_3$ , Mg- $\text{HCO}_3$ , Na- $\text{HCO}_3$ , Na-Cl, Mg-Cl and Ca-Cl. In most groundwater samples, from anions side the  $\text{HCO}_3^-$  are dominant and from the cations side the  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{Mg}^{2+}$  are dominant, indicating fresh water of natural replenishment which dissolve the carbonate rocks during their infiltration. In coastal zone's groundwater, the ions  $\text{Na}^+$  and  $\text{Cl}^-$  are dominant, revealing the salinization of the aquifer due to the vicinal sea. The inland zone's groundwater, which are found in the field with the chlorine as dominant ions indicate the geological bedrock's impact (residual evaporate salts within the neogen formations) on the configuration of their chemical composition.

During the transition from the dry to the wet period, the hydrochemical groups' distribution in the fields of Durov diagram is stable for the majority of the water samples. A few samples of the coastal zone go over to fields which reveal the increase of the ions  $\text{Cl}^-$  due to sea intrusion, while the samples of the inland zone which transit to other field reveal the various procedures of cation exchange and reverse cation exchange. The seasonal alterations are detected mainly at the upper aquifer which is being exploited by wells and shallow boreholes, while in the deepest horizons which are being exploited by deep boreholes, there are no strong quality alterations.

The study area groundwater's high salinity disables suitability for drinking purpose, as this is specified by the drinking water standards of the directives 80/778 and 98/83 of E.E.

According to Richards and Wilcox methods the majority of the study area waters rank in medium quality waters for irrigation. The groundwater of the coastal zone presents low quality and is unsuitable for irrigation.

The examination of relation between the hydrochemical and soil analysis has not been statistically proved, however indicated similarity between the spatial distributions of the elements Mg and Ca implying their geogenic origin. Similarity is noticed in the  $\text{Na}^+$  with increasing trend towards the coastal zone due to seawater intrusion into the aquifer, due to high level of the subsaline aquifer and due to sea

spray deposition on the soils. The NO<sub>3</sub> concentrations in groundwater and the nitrogen percentage (N%) in soils present increasing trend towards the central-west part, where Koropi's crops dominate, due to nitrogen and manure application on crops.

Similarity is noticed between the spatial distributions of some heavy metals of groundwater and the corresponding residual forms in soils. Most heavy metals present increasing trend towards the west and south part, which relate with the schist formations and the locally occurrence of various oxides, the mixed sulfate minerals and the ophiolitic bodies. The absence of relation between the spatial distribution of most groundwater heavy metals and the corresponding soluble forms in soils, confirms the geogenic origin of heavy metals' concentrations in groundwater.

Inspecting the future status of the area in issue, based on global climatic scenarios the risk of desertification comes up with high temperatures during the dry months, aquifers' water reservoir reduction, groundwater and surface water quality deterioration, soil resources deterioration and rise of the sea water level having direct impacts on the coastal zone.

**Study area:** Mesogeia basin, East Attica.

**Key words:** Geochemical research on soils, surface water and groundwater quality composition, heavy metals, hydrological balance.



## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

		<b>Σελίδα</b>
	<b>ΠΡΟΛΟΓΟΣ</b>	
1	<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b>	1
1.1	Σκοπός της έρευνας	1
1.2	Το νερό στην φύση	2
1.3	Το υπόγειο και το επιφανειακό νερό	3
1.4	Το έδαφος	4
1.5	Ποιοτική επιβάρυνση των υδατικών κι εδαφικών πόρων	9
1.5.1	Γεωγενής επιβάρυνση	9
1.5.2	Ανθρωπογενής επιβάρυνση	10
1.5.2.1	Ρύπανση των υπόγειων νερών απ' τη χρήση αγροχημικών	10
1.5.2.2	Ρύπανση των υδάτων κι εδαφών από βαρέα μέταλλα	14
1.5.2.3	Ρύπανση από απόβλητα ελαιοτριβείων	16
1.6	Νομοθεσία	17
2	<b>ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΡΕΥΝΑΣ</b>	19
2.1	Γεωγραφικά στοιχεία	19
2.1.1	Ιστορική ανασκόπηση	19
2.1.2	Πληθυσμιακή εξέλιξη	21
2.2	Χρήσεις γης	23
2.2.1	Αστικές περιοχές	23
2.2.2	Δασικές περιοχές	25
2.2.3	Γεωργία – Κτηνοτροφία	26
2.2.4	Κύριες ενασχολήσεις πληθυσμού	26
2.2.5	Επιχειρήσεις περιοχής	27
3	<b>ΓΕΩΛΟΓΙΑ</b>	29
3.1	Γεωλογικοί σχηματισμοί	29
3.1.1	Αυτόχθονη ενότητα	31
3.1.2	Κατώτερη τεκτονική ενότητα	32
3.1.3	Ανώτερη τεκτονική ενότητα	32
3.1.4	Τριτογενές σύστημα	32
3.1.5	Τεταρτογενές σύστημα	33
3.2	Τεκτονική δομή	34
3.3	Λιγνιτοφορία - Μεταλλοφορία	35
4	<b>ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ</b>	37
4.1	Γενικά γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά	37
4.2	Το ανάγλυφο	38
4.2.1	Υψομετρική ανάλυση λεκάνης απορροής Ερασίνου	38
4.2.2	Υψομετρική ανάλυση λεκάνης απορροής Μεγάλου Ρέματος	40
4.2.3	Εμφανίσεις καρστ στην περιοχή έρευνας	43
4.3	Ανάπτυξη του υδρογραφικού δικτύου	43
4.3.1	Λεκάνη απορροής Ερασίνου	43
4.3.2	Λεκάνη απορροής Μεγάλου Ρέματος	45
5	<b>ΥΔΡΟΛΟΓΙΑ</b>	47
5.1	Γενικά	47
5.2	Κλιματικά Στοιχεία	48
5.2.1	Θερμοκρασία	48
5.2.2	Σχέση υψομέτρου – θερμοκρασίας	49

5.2.3	Σχέση Υψομέτρου - Θερμοκρασίας λεκάνης Ερασίνου	50
5.2.4	Σχέση Υψομέτρου - Θερμοκρασίας λεκάνης Μεγάλου Ρέματος	51
5.2.5	Ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα	52
5.2.6	Σχέση υψομέτρου – ύψους βροχής	53
5.2.7	Σχετική υγρασία	54
5.3	Εξατμισοδιαπνοή	56
5.4	Ολική απορροή	58
5.4.1	Επιφανειακή απορροή λεκάνης Ερασίνου	59
5.4.2	Επιφανειακή απορροή λεκάνης Μεγάλου Ρέματος	60
5.5	Κατείδυση	61
5.6	Υδρολογικό Ισοζύγιο	62
5.6.1	Υδρολογικό Ισοζύγιο λεκάνης Ερασίνου	62
5.6.2	Υδρολογικό Ισοζύγιο λεκάνης Μεγάλου Ρέματος	64
6	ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ	67
6.1	Γενικά	67
6.2	Υδρολιθολογία	67
6.2.1	Υδροπερατοί σχηματισμοί	67
6.2.2	Ημιπερατοί σχηματισμοί	68
6.2.3	Σχεδόν υδατοστεγείς σχηματισμοί	68
6.3	Υδροφόροι ορίζοντες	68
6.3.1	Καρστική υδροφορία	68
6.3.2	Υδροφορία των νεογενών σχηματισμών	69
6.3.3	Υδροφορία των τεταρτογενών αποθέσεων	69
6.4	Πιεζομετρία	70
7	ΓΕΩΧΗΜΕΙΑ	73
7.1	Δειγματοληψία εδαφών	73
7.2	Μέθοδοι ανάλυσης εδάφους	74
7.3	Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά των εδαφών	78
7.3.1	Κοκκομετρική σύσταση	78
7.3.2	Χρώμα	80
7.3.3	Οργανική ουσία	80
7.3.4	Τιμές pH – οξύτητα εδαφών	81
7.3.5	Ηλεκτρική αγωγιμότητα EC	82
7.3.6	Ικανότητα Ανταλλαγής κατιόντων (ΙΑΚ)	83
7.3.7	Ισοδύναμο Ανθρακικό ασβέστιο (% CaCO <sub>3</sub> )	84
7.4	Ανταλλάξιμα κατιόντα	85
7.5	Φώσφορος P	88
7.6	Άζωτο N (%)	90
7.7	Ο λόγος C/N	91
7.8	Βαθμός Κορεσμού με Βάσεις (BKB)	91
7.9	Βαρέα μέταλλα εδαφών	93
7.9.1	Ολικός Σίδηρος (Fe <sub>tot</sub> )	101
7.9.2	Μαγγάνιο (Mn)	105
7.9.3	Χαλκός Cu	108
7.9.4	Ψευδάργυρος Zn	112
7.9.5	Κάδμιο Cd	116
7.9.6	Μόλυβδος Pb	119
7.9.7	Νικέλιο (Ni)	123
7.9.8	Κοβάλτιο (Co)	127
7.9.9	Χρώμιο ολικό (Cr <sub>tot</sub> )	129
7.10	Στατιστική ανάλυση αποτελεσμάτων εδαφικών αναλύσεων	134
7.10.1	Ανάλυση συσχέτισης	134

7.10.2	Ανάλυση παραγόντων R-τύπου	136
8	ΥΔΡΟΧΗΜΕΙΑ	139
8.1	Γενικά	139
8.2	Δειγματοληψία	139
8.2.1	Επιτόπιες μετρήσεις	141
8.2.2	Εργαστηριακές αναλύσεις	141
8.3	Επεξεργασία των στοιχείων	144
8.4	Υπόγεια νερά	159
8.4.1	Φυσικοχημικές παράμετροι	159
8.4.1.1	Θερμοκρασία	159
8.4.1.2	Το pH	161
8.4.1.3	Ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC)	163
8.4.1.4	Ολικά διαλυμένα στερεά (TDS)	165
8.4.1.5	Σκληρότητα	167
8.4.2	Κύρια στοιχεία και ιχνοστοιχεία	171
8.4.2.1	Ασβέστιο ( $\text{Ca}^{2+}$ )	171
8.4.2.2	Μαγνήσιο ( $\text{Mg}^{2+}$ )	174
8.4.2.3	Κάλιο ( $\text{K}^+$ )	176
8.4.2.4	Νάτριο ( $\text{Na}^+$ )	178
8.4.2.5	Οξυανθρακικά ( $\text{HCO}_3^-$ )	180
8.4.2.6	Χλώρια ( $\text{Cl}^-$ )	182
8.4.2.7	Θειικά ( $\text{SO}_4^{2-}$ )	185
8.4.2.8	Ενώσεις αζώτου ( $\text{NO}_3^-$ , $\text{NO}_2^-$ , $\text{NH}_4^+$ )	187
8.4.2.9	Φωσφορικά ( $\text{PO}_4^{3-}$ )	193
8.4.2.10	Βρώμιο ( $\text{Br}^-$ )	195
8.4.2.11	Ιώδιο ( $\text{I}^-$ )	197
8.4.2.12	Φθόριο ( $\text{F}_2^-$ )	199
8.4.2.13	Διοξείδιο του πυριτίου ( $\text{SiO}_2$ )	201
8.4.3	Βαρέα Μέταλλα	203
8.4.3.1	Ολικός Σίδηρος ( $\text{Fe}^{2+}$ και $\text{Fe}^{3+}$ )	204
8.4.3.2	Μαγγάνιο (Mn)	208
8.4.3.3	Χαλκός(Cu)	211
8.4.3.4	Ψευδάργυρος (Zn)	215
8.4.3.5	Κάδμιο (Cd)	219
8.4.3.6	Μόλυβδος (Pb)	223
8.4.3.7	Νικέλιο (Ni)	226
8.4.3.8	Κοβάλτιο (Co)	229
8.4.3.9	Χρώμιο ολικό (Cr)	231
8.4.3.10	Στρόντιο (Sr)	234
8.5	Επιφανειακά νερά	237
8.5.1	Γενικά	237
8.5.2	Εργασίες πεδίου-Δειγματοληψία-Αναλύσεις	238
8.5.3	Διαχρονική διακύμανση των ποιοτικών χαρακτηριστικών	240
8.5.3.1	Φυσικοχημικές παράμετροι	240
8.5.3.2	Κύρια στοιχεία	255
8.5.3.3	Δευτερεύουσες ενώσεις	264
8.5.4	Μεταφορά ετήσιου ρυπαντικού φορτίου	271
8.5.5	Βαρέα μέταλλα επιφανειακών νερών	273
8.5.6	Μεταφορά ετήσιου ρυπαντικού φορτίου βαρέων μετάλλων	281
8.5.7	Χαρακτηρισμός της περιβαλλοντικής κατάστασης	284
8.5.8	Προτεινόμενα μέτρα προστασίας	286
8.6	Υδροχημική ταξινόμηση	287
8.6.1	Ταξινόμηση κατά Piper	287

8.6.2	Ταξινόμηση κατά Durov	298
8.7	Καταλληλότητα των νερών για διάφορες χρήσεις	307
8.7.1	Γενικά	307
8.7.2	Καταλληλότητα των υπόγειων νερών για ανθρώπινη	307
8.7.3	Καταλληλότητα για άρδευση	311
8.7.3.1	Ταξινόμηση κατά Richards	311
8.7.3.2	Ταξινόμηση κατά Wilcox	320
8.8	Προέλευση των στοιχείων	327
8.8.1	Ιοντικοί λόγοι	327
8.8.2	Δείκτες Κορεσμού	332
8.9	Στατιστική ανάλυση υδροχημικών αποτελεσμάτων	336
8.9.1	Έλεγχος διαφοράς δύο μέσων	336
8.9.2	Ανάλυση συσχέτισης	338
8.9.2.1	Υπόγεια νερά	338
8.9.2.2	Επιφανειακά νερά	340
8.9.3	Ανάλυση παραγόντων R-τύπου	343
8.9.3.1	Υπόγεια νερά	343
8.9.3.2	Επιφανειακά νερά	348
8.9.4	Συμπεράσματα στατιστικής ανάλυσης υδροχημικών	350
9	ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΝ ΟΨΕΙ ΤΩΝ ΚΛΙΜΑΤΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΩΝ	351
9.1	Οι παγκόσμιες κλιματικές αλλαγές	351
9.2	Κλιματικές αλλαγές και εκτίμηση επιπτώσεων στη λεκάνη Μεσογείων	354
9.3	Εκτίμηση της επικινδυνότητας της περιοχής σε πυρκαγιές και πλημμύρες	357
10	ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	361
11	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	365
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	373
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	391

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

	ΠΙΝΑΚΑΣ	Σελ.
1.1	Όρια τιμών pH για την ανάπτυξη των κυριότερων καλλιεργειών (Sposito 1989)	5
1.2	Χαρακτηρισμός εδαφών ανάλογα το pH (Sposito 1989)	5
1.3	Σύσταση των κυριότερων ορυκτών σε βαρέα μέταλλα (Mittcell, 1964)	15
1.4	Γεωργικές πηγές ρύπανσης των εδαφών σε βαρέα μέταλλα (ppm) (Kabata-Pendias and Pendias, 1992).	15
1.5	Συγκεντρώσεις των σημαντικότερων βαρέων μετάλλων (σε ppm) που περιέχουν ορισμένα λιπάσματα και βελτιωτικά εδάφους ( <a href="http://www.lenntech.com/heavy-metals.htm">www.lenntech.com/heavy-metals.htm</a> )	15
1.6	Κατάταξη βαρέων μετάλλων με βάση την τοξικότητα αυτών (Nieboer and Richardson, 1980)	16
1.7	Συγκεντρώσεις φαινολικών συστατικών κασιόγαρου (Ναυροζίδης, 2008)	16
2.1	Πληθυσμός δήμων της περιοχής έρευνας 1961-1991, (ΕΛ.ΣΤΑΤ.)	22
2.2	Πληθυσμός δήμων της περιοχής έρευνας (1991-2001), ΕΛ.ΣΤΑΤ. 2004	22
2.3	Αριθμός βιομηχανιών και λατομείων ανά δήμο της περιοχής (ΕΛ.ΣΤΑΤ. 2001)	27
4.1	Υγρομετρική ανάλυση της λεκάνης απορροής Ερασίνου	38
4.2	Υγρομετρική ανάλυση της λεκάνης απορροής Μεγάλου Ρέματος	40
5.1	Χαρακτηριστικά Μετεωρολογικών Σταθμών της περιοχής έρευνας	48
5.2	Κλιματολογικά στοιχεία - Μέσοι όροι όλων των σταθμών (1972-2009)	49
5.3	Μετεωρολογικοί σταθμοί που χρησιμοποιήθηκαν για την εξαγωγή της θερμοβαθμίδας	50
5.4	Υγρομετρικές ζώνες λεκάνης Ερασίνου με τις αντίστοιχες εκτάσεις και ποσοστά κάλυψης	51
5.5	Υγρομετρικές ζώνες λεκάνης Μεγ. Ρέματος με τις αντίστοιχες εκτάσεις και ποσοστά κάλυψης	51
5.6	Μετεωρολογικοί σταθμοί που χρησιμοποιήθηκαν για την εξαγωγή της βροχοβαθμίδας	55
5.7	Τιμές Ra (μέσοι όροι 5 Μετεωρολογικών σταθμών Αερολιμένα Αθηνών), μέσες τιμές μέσης μέγιστης T <sub>max</sub> και μέσης ελάχιστης T <sub>min</sub> θερμοκρασίας (μέσοι όροι όλων των σταθμών) και τιμές μέσης θερμοκρασίας T <sub>med</sub> (από εφαρμογή θερμοβαθμίδας για κάθε λεκάνη).	57
5.8	Μέθοδοι εκτίμησης εξατμισοδιαπνοής για κάθε εμπειρικό τύπο στη λεκάνη Ερασίνου και στη λεκάνη Μεγάλου Ρέματος	58
5.9	Ποσοστά κατείδυσης στους γεωλογικούς σχηματισμούς της λεκάνης Ερασίνου και Μεγάλου Ρέματος	61
5.10	Τιμές και ποσοστά παραμέτρων υδρολογικού ισοζυγίου λεκάνης Ερασίνου	63
5.11	Σύγκριση αποτελεσμάτων μεθόδων Burdon και Παπάκη και υπολογισμού κατείδυσης με βάση τους υποκείμενους γεωλογικούς σχηματισμούς για τη λεκάνη Ερασίνου	63
5.12	Τιμές και ποσοστά παραμέτρων υδρολογικού ισοζυγίου λεκάνης Μεγάλου Ρέματος	64
5.13	Σύγκριση αποτελεσμάτων μεθόδων Burdon και Παπάκη και υπολογισμού κατείδυσης με βάση τους υποκείμενους γεωλογικούς σχηματισμούς για τη λεκάνη Μεγάλου Ρέματος	64
5.14	Παράμετροι του υδρολογικού ισοζυγίου λεκάνης Ερασίνου και Μεγάλου Ρέματος με βάση την εκτίμηση της εξατμισοδιαπνοής με τον εμπειρικό τύπο των Burdon & Papakis.	65
7.1	Φυσικοχημικές ιδιότητες και κύρια στοιχεία εδαφών	77
7.2	Κοκκομετρική σύσταση και τιμές του λόγου [(άμμος+ ιλύς)/άργιλος] των εδαφικών δειγμάτων της περιοχής	79
7.3	Συσώρευση βαρέων μετάλλων στα φυτά (Alloway, 1995)	93
7.4	Ευαισθησία των καλλιεργήσιμων φυτών στην έλλειψη ιχνοστοιχείων (Alloway, 1995)	94
7.5	Εύρος λειτουργίας κι ευαισθησία φασματόμετρου ατομικής απορρόφησης τύπου GBS 908	95
7.6	Ολικές συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων	96
7.7	Συγκεντρώσεις υδατοδιαλυτών μορφών βαρέων μετάλλων εδαφών	97
7.8	Συγκεντρώσεις ανταλλάξιμων μορφών βαρέων μετάλλων εδαφών	98
7.9	Συγκεντρώσεις δεσμευμένων μορφών βαρέων μετάλλων εδαφών στα οργανικά και ανθρακικά τεμαχίδια του εδάφους και τα οξείδια Fe & Mn (ppm)	99
7.10	Συγκεντρώσεις (ppm) δεσμευμένων μορφών βαρέων μετάλλων στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών	100
7.11	Συγκεντρώσεις Ni από την εφαρμογή προσθετικών βελτιωτικών εδάφους σε mg/kg (Alloway, 1995).	125

7.12	Συντελεστές συσχέτισης των φυσικοχημικών παραμέτρων, των κύριων στοιχείων και των ολικών βαρέων μετάλλων των εδαφών	135
7.13	Παράγοντες στα εδάφη	137
7.14	Ανάλυση παραγόντων γεωγενούς προέλευσης (φάσης δεσμευμένων μορφών στο κρυσταλλικό πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών)	138
8.1	Χαρακτηριστικά στοιχεία προσδιορισμού των βαρέων μετάλλων σύμφωνα με τη φασματοσκοπία ατομικής απορρόφησης με φασματόμετρο τύπου GBS 908.	143
8.2	Στατιστική επεξεργασία των μέσων τιμών των φυσικοχημικών και χημικών παραμέτρων των υπόγειων υδάτων που προέρχονται από τους Τεταρτογενείς σχηματισμούς	146
8.3	Στατιστική επεξεργασία των μέσων τιμών των φυσικοχημικών και χημικών παραμέτρων των υπόγειων υδάτων που προέρχονται από τους Τεταρτογενείς σχηματισμούς	147
8.4	Στατιστική επεξεργασία των μέσων τιμών των φυσικοχημικών και χημικών παραμέτρων των υπόγειων υδάτων που προέρχονται από τους Νεογενείς σχηματισμούς	147
8.5	Στατιστική επεξεργασία των μέσων τιμών των φυσικοχημικών και χημικών παραμέτρων των υπόγειων υδάτων που προέρχονται από τους Νεογενείς σχηματισμούς	149
8.6	Στατιστική επεξεργασία των μέσων τιμών των φυσικοχημικών και χημικών παραμέτρων των υπόγειων υδάτων που προέρχονται από τους Ανθρακικούς σχηματισμούς	150
8.7	Στατιστική επεξεργασία των μέσων τιμών των φυσικοχημικών και χημικών παραμέτρων των υπόγειων υδάτων που προέρχονται από τους Ανθρακικούς σχηματισμούς	151
8.8	Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων του επιφανειακού νερού του Μεγάλου Ρέματος στη Θέση Ραφ.1 (No 8)	152
8.9	Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων του επιφανειακού νερού του Μεγάλου Ρέματος στη Θέση Ραφ.2 (No 9)	153
8.10	Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων του επιφανειακού νερού του Μεγάλου Ρέματος στη Θέση Ραφ.3 (No 10)	154
8.11	Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων του επιφανειακού νερού του Μεγάλου Ρέματος στη Θέση Ραφ.4 (No 11)	155
8.12	Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων του επιφανειακού νερού του Μεγάλου Ρέματος στη Θέση Ραφ.5 (No 12)	156
8.13	Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων του επιφανειακού νερού του Ερασίνου στη Θέση Ερ.1 (No1)	157
8.14	Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων του επιφανειακού νερού του Ερασίνου στις Θέσεις Ερ.2 και Ερ.3 (No 5 και 6 )	158
8.15	Αξιολόγηση των υδάτων βάσει της σκληρότητας σε °dH (Hoell, 1979)	167
8.16	Στατιστικά στοιχεία των συγκεντρώσεων των βαρέων μετάλλων που προσδιορίστηκαν στα υπόγεια νερά των υδροφόρων σχηματισμών της περιοχής	203
8.17	Η συμμετοχή του χαλκού (mg/kg) στα κυριότερα πετρώματα (Alloway, 1995)	212
8.18	Πηγές Cu στα χρησιμοποιούμενα λιπάσματα (Netzer & Beszedits, 1979)	212
8.19	Συγκεντρώσεις Cr από την εφαρμογή προσθετικών βελτιωτικών εδάφους σε mg/kg (Alloway, 1995)	232
8.20	Μεταφορά ετήσιου ρυπαντικού φορτίου του Μεγάλου Ρέματος σε τόνους	272
8.21	Μεταφορά ετήσιου ρυπαντικού φορτίου του Ερασίνου σε τόνους	272
8.22	Συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων στα επιφανειακά νερά του Μεγ. Ρέματος σε ppm	273
8.23	Συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων στον ποταμό Ερασίνο σε ppm	273
8.24	Ολικό φορτίο μεταφοράς βαρέων μετάλλων στο Μεγάλο Ρέμα σε τόνους	282
8.25	Ολικό φορτίο μεταφοράς Ερασίνου σε τόνους	282
8.26	Υδρογεωχημικές κατηγορίες και οι αντίστοιχοι υδροχημικοί τύποι που προκύπτουν για τα υπόγεια νερά των Τεταρτογενών σχηματισμών κατά Piper.	289
8.27	Υδρογεωχημικές κατηγορίες και οι αντίστοιχοι υδροχημικοί τύποι που προκύπτουν για τα υπόγεια νερά των Νεογενών σχηματισμών κατά Piper.	291
8.28	Υδρογεωχημικές κατηγορίες και οι αντίστοιχοι υδροχημικοί τύποι που προκύπτουν για τα υπόγεια νερά των ανθρακικών σχηματισμών κατά Piper.	295
8.29	Υδρογεωχημικές κατηγορίες και οι αντίστοιχοι υδροχημικοί τύποι που προκύπτουν κατά Piper για τα επιφανειακά νερά του Ερασίνου και του Μεγάλου Ρέματος Ραφήνας.	297
8.30	Υδρογεωχημικές κατηγορίες που προκύπτουν για τα υπόγεια νερά των Τεταρτογενών σχηματισμών κατά Duron.	300
8.31	Υδρογεωχημικές κατηγορίες που προκύπτουν για τα υπόγεια νερά των Νεογενών σχηματισμών κατά Duron.	302

<b>8.32</b>	Υδρογεωχημικές κατηγορίες που προκύπτουν για τα υπόγεια νερά των ανθρακικών σχηματισμών κατά Dugon.	<b>304</b>
<b>8.33</b>	Υδρογεωχημικές κατηγορίες που προκύπτουν κατά Dugon για τα επιφανειακά νερά του Ερασίνου και του Μεγάλου Ρέματος Ραφήνας.	<b>305</b>
<b>8.34</b>	Ανώτατα όρια της Οδηγίας 80/778/15-7-80 της Ε.Ε. για τα πόσιμα νερά	<b>308</b>
<b>8.35</b>	Ένδειξη καταλληλότητας ή μη των υπόγειων υδάτων προς ανθρώπινη κατανάλωση	<b>309</b>
<b>8.36</b>	Κατηγορίες αρδευτικών υδάτων και η καταλληλότητα τους κατά Richards (1954)	<b>312</b>
<b>8.37</b>	Ταξινόμηση υδάτων νεογενών σχηματισμών της περιοχής κατά Richards και Wilcox	<b>317</b>
<b>8.38</b>	Ταξινόμηση υδάτων νεογενών σχηματισμών της περιοχής κατά Richards	<b>317</b>
<b>8.39</b>	Ταξινόμηση υδάτων ανθρακικών σχηματισμών της περιοχής κατά Richards	<b>318</b>
<b>8.40</b>	Ταξινόμηση επιφανειακών υδάτων της περιοχής κατά Richards	<b>319</b>
<b>8.41</b>	Κατηγορίες αρδευτικών υδάτων και η καταλληλότητα τους (Wilcox, 1955)	<b>321</b>
<b>8.42</b>	Λόγοι Na:Cl, (Ca+Mg-SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub> )Cl, Cl:Br, BEX και Cl:HCO <sub>3</sub> που εμφανίζουν τα νερά της περιοχής έρευνας	<b>331</b>
<b>8.43</b>	Δείκτες κορεσμού (SI) των δειγμάτων νερού στα κυριότερα πετρώματα	<b>334</b>
<b>8.44</b>	Τιμές της παραμέτρου Z για το στατιστικό έλεγχο διαφορών των δύο μέσων μεταξύ των επαναληπτικών δειγματοληψιών νερού ( $\alpha=0,05$ ).	<b>337</b>
<b>8.45</b>	Τιμές στατικού ελέγχου Z για τη διαφορά των δύο μέσων βαρέων μετάλλων μεταξύ των συγκεντρώσεων στα ύδατα και των υδατοδιαλυτών συγκεντρώσεων στα εδάφη ( $\alpha=0,05$ ).	<b>337</b>
<b>8.46</b>	Συντελεστές συσχέτισης των φυσικοχημικών παραμέτρων και στοιχείων των υπόγειων νερών της ξηρής περιόδου	<b>339</b>
<b>8.47</b>	Συντελεστές συσχέτισης των φυσικοχημικών παραμέτρων και στοιχείων των υπόγειων νερών της υγρής περιόδου	<b>340</b>
<b>8.48</b>	Συντελεστές συσχέτισης των επιφανειακών νερών	<b>342</b>
<b>8.49</b>	Παράγοντες αποτελεσμάτων υπόγειων νερών ξηρής περιόδου.	<b>344</b>
<b>8.50</b>	Παράγοντες αποτελεσμάτων υπόγειων νερών υγρής περιόδου	<b>346</b>
<b>8.51</b>	Παράγοντες επιφανειακών υδάτων	<b>348</b>
<b>I</b>	Εκμεταλλεύσεις και εκτάσεις αυτών (σε εκτάρια) κατά είδος καλλιέργειας (ΕΛ. ΣΤΑΤ. 1999-2000).	<b>393</b>
<b>II</b>	Κτηνοτροφία - εκμεταλλεύσεις κι αριθμός ζώων κατά κατηγορία (ΕΛ.ΣΤΑΤ., 1999 -2000)	<b>394</b>
<b>III</b>	Οικονομικά Ενεργός Πληθυσμός ετών 1971-1981 (ΕΛ.ΣΤΑΤ.)	<b>395</b>
<b>IV</b>	Οικονομικά Ενεργός Πληθυσμός (ΕΛ.ΣΤΑΤ., 2001)	<b>395</b>
<b>V</b>	Κλιματολογικά στοιχεία των σταθμών της περιοχής	<b>396</b>
<b>VI</b>	Μετρούμενη παροχή και μέσος όρος κατακρημνισμάτων των 5 σταθμών του Διεθνούς Αερολιμένα Αθηνών	<b>398</b>
<b>VII</b>	Χαρακτηριστικά στοιχεία των σημείων δειγματοληψίας	<b>401</b>
<b>VIII</b>	Συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων στα υπόγεια νερά των τεταρτογενών σχηματισμών	<b>403</b>
<b>VIII</b>	Συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων στα υπόγεια νερά των νεογενών σχηματισμών	<b>403</b>
<b>X</b>	Συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων στα υπόγεια νερά των ανθρακικών σχηματισμών	<b>405</b>

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

	<b>ΣΧΗΜΑ</b>	<b>Σελ.</b>
<b>1.1</b>	Ταξινόμηση των εδαφών στο τριγωνικό διάγραμμα κατά το US Department of Agricultural Bureau Industry Soils and Agricultural Engineering	<b>8</b>
<b>2.1</b>	Η περιοχή έρευνας σε δορυφορική εικόνα (Google Earth, 2011)	<b>19</b>
<b>2.2</b>	Ψηφιακό Υψομετρικό Μοντέλο της περιοχής έρευνας	<b>20</b>
<b>2.3</b>	Διάγραμμα εξέλιξης του πληθυσμού της περιοχής απ' το 1961 έως το 2001	<b>23</b>
<b>2.4</b>	Χάρτης χρήσεων γης της περιοχής έρευνας	<b>24</b>
<b>2.5</b>	Διάγραμμα κατανομής των χρήσεων γης στην περιοχή	<b>25</b>
<b>2.6</b>	Κατανομή των εκτάσεων των διαφόρων καλλιεργειών στη περιοχή	<b>26</b>
<b>2.7</b>	Διαχρονική εξέλιξη της απασχόλησης του πληθυσμού στους διάφορους τομείς	<b>27</b>
<b>3.1</b>	Φύλλα γεωλογικών χαρτών που χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία του γεωλογικού χάρτη περιοχής έρευνας σε περιβάλλον ArcGIS.	<b>29</b>
<b>3.2</b>	Γεωλογικός χάρτης της περιοχής έρευνας (ψηφιοποίηση των Φύλλων Κορωπί-Πλάκα (Κατσιαβριάς, 2007), Κηφισιά (Κατσικάτος, 1997 - ΙΓΜΕ) και Ραφήνα (Κατσικάτος, 1977 - ΙΓΜΕ) κλίμακας 1:50.000.	<b>30</b>
<b>4.1</b>	Τα φύλλα των τοπογραφικών χαρτών που ενοποιήθηκαν για τη δημιουργία χαρτών αναγλύφου και υδρογραφικού δικτύου σε περιβάλλον ArcGIS.	<b>37</b>
<b>74.2</b>	Ψηφιοποιημένος τοπογραφικός χάρτης της περιοχής έρευνας με το υδρογραφικό δίκτυο και τα αποτυπωμένα υψομετρικά σημεία και υδροσημεία.	<b>39</b>
<b>4.3</b>	Χάρτης κλίσεων των δύο λεκανών απορροής της περιοχής έρευνας, όπως αποτυπώνονται μέσω της επεξεργασίας του Γ.Π.Σ.	<b>41</b>
<b>4.4</b>	Χάρτης προσανατολισμού των πρανών των δύο λεκανών απορροής της περιοχής έρευνας, όπως αποτυπώνονται μέσω της επεξεργασίας του Γ.Π.Σ.	<b>42</b>
<b>4.5</b>	Ανάπτυξη των δυο λεκανών απορροής της περιοχής έρευνας	<b>44</b>
<b>4.6</b>	Ανάπτυξη του υδρογραφικού δικτύου στις λεκάνες Ερασίνου και Μεγάλου Ρέματος Ραφήνας.	<b>45</b>
<b>5.1</b>	Ψηφιακό Υψομετρικό Μοντέλο της περιοχής έρευνας με τους 14 μετεωρολογικούς σταθμούς	<b>47</b>
<b>5.2</b>	Διάγραμμα των μέσων μηνιαίων τιμών θερμοκρασίας σε κάθε σταθμό της περιοχής.	<b>49</b>
<b>5.3</b>	Διαγραμματική απεικόνιση της σχέσης θερμοκρασίας και απόλυτου υψομέτρου της περιοχής έρευνας	<b>50</b>
<b>5.4</b>	Υδρολογική λεκάνη Ερασίνου χωρισμένη σε 4 υψομετρικές ζώνες	<b>51</b>
<b>5.5</b>	Υδρολογική λεκάνη Μεγάλου Ρέματος χωρισμένη σε 4 υψομετρικές ζώνες	<b>52</b>
<b>5.6</b>	Ραβδόγραμμα μέσων μηνιαίων τιμών βροχόπτωσης	<b>53</b>
<b>5.7</b>	Γραφική απεικόνιση της ποσοστιαίας αναλογίας του ετήσιου νετού ανά εποχή	<b>53</b>
<b>5.8</b>	Γραφική απεικόνιση της μηνιαίας ποσοστιαίας αναλογίας του ετήσιου νετού	<b>53</b>
<b>5.9</b>	Διάγραμμα των μέσων μηνιαίων τιμών νετού σε κάθε σταθμό της περιοχής (για τους σταθμούς με πολυετή δεδομένα)	<b>54</b>
<b>5.10</b>	Θερμοϋετόγραμμα με δεδομένα μηνιαίο μέσο όρο νετού και θερμοκρασίας Tmed όλων των εξεταζόμενων μετεωρολογικών σταθμών.	<b>54</b>
<b>5.11</b>	Διαγραμματική απεικόνιση της σχέσης ύψους βροχής και απόλυτου υψομέτρου της περιοχής έρευνας	<b>55</b>
<b>5.12</b>	Διάγραμμα μέσων μηνιαίων τιμών σχετικής υγρασίας	<b>56</b>
<b>5.13</b>	Κύριες διατομές ανοικτών αγωγών (Καρακατσούλης, 1981)	<b>58</b>
<b>5.14</b>	Τραπεζοειδής διατομή	<b>59</b>
<b>5.15</b>	Διαγραμματική απεικόνιση εβδομαδιαίων μετρούμενων παροχών στον Ερασίνο και το Μεγάλο Ρέμα με τα αντίστοιχα ημερήσια κατακρημνίσματα	<b>60</b>
<b>5.16</b>	Γραφική απεικόνιση του υδρολογικού ισοζυγίου της λεκάνης Ερασίνου Α: εκτίμηση της εξατμισοδιαπνοής κατά Burdon και Παπάκης Β: εκτίμηση βάσει ποσοστού κατείδυσης στους υποκείμενους γεωλογικούς σχηματισμούς	<b>63</b>
<b>5.17</b>	Διαγραμματική απεικόνιση του υδρολογικού ισοζυγίου της λεκάνης Μεγ. Ρέματος Α: με τον εμπειρικό τύπο μέτρησης της εξατμισοδιαπνοής των Burdon και Παπάκης Β: με τον υπολογισμό της κατείδυσης βάσει των υποκείμενων γεωλογικών σχηματισμών	<b>65</b>



6.1	Η πιεζομετρία της περιοχής έρευνας	70
7.1	Τα σημεία δειγματοληψίας εδάφους	73
7.2	Τριγωνική ταξινόμηση εδαφών περιοχής κατά το US Department of Agricultural Bureau Industry Soils and Agricultural Engineering.	80
7.3	Ιστόγραμμα συχνοτήτων των ποσοστών οργανικής ουσίας	81
7.4	Χωρική κατανομή οργανικής ουσίας (%) στα εδάφη της περιοχής έρευνας	81
7.5	Ιστόγραμμα συχνοτήτων των τιμών pH	82
7.6	Χωρική κατανομή pH	82
7.7	Ιστόγραμμα συχνοτήτων των τιμών ηλεκτρικής αγωγιμότητας ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	83
7.8	Χωρική κατανομή ηλεκτρικής αγωγιμότητας EC ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	83
7.9	Ιστόγραμμα συχνοτήτων των τιμών IAK σε χιλιοϊστοδύναμα /100γρ. εδάφους	83
7.10	Χωρική κατανομή IAK (χιλιοϊστοδύναμα /100γρ. εδάφους)	83
7.11	Σχέση αργίλου – IAK	84
7.12	Ιστόγραμμα συχνοτήτων ποσοστού ισοδύναμου $\text{CaCO}_3$	85
7.13	Χωρική κατανομή ποσοστού ισοδύναμου $\text{CaCO}_3$	85
7.14	Ιστόγραμμα συχνοτήτων συγκεντρώσεων Ca (meq/100gr εδάφους)	85
7.15	Χωρική κατανομή Ca (meq/100gr εδάφους)	85
7.16	Ιστόγραμμα συχνοτήτων συγκεντρώσεων Mg (meq/100gr εδάφους)	86
7.17	Χωρική κατανομή Mg (meq/100gr εδάφους)	86
7.18	Ιστόγραμμα συχνοτήτων συγκεντρώσεων K (meq/100gr εδάφους)	87
7.19	Χωρική κατανομή K (meq/100gr εδάφους)	87
7.20	Ιστόγραμμα συχνοτήτων συγκεντρώσεων Na (meq/100gr εδάφους)	88
7.21	Χωρική κατανομή Na (meq/100gr εδάφους)	88
7.22	Ιστόγραμμα συχνοτήτων συγκεντρώσεων P (ppm)	89
7.23	Χωρική κατανομή συγκεντρώσεων P	89
7.24	Ιστόγραμμα συχνοτήτων ποσοστού N %	90
7.25	Χωρική κατανομή N %	90
7.26	Ιστόγραμμα συχνοτήτων του λόγου C/N	91
7.27	Χωρική κατανομή λόγου C/N	91
7.28	Ιστόγραμμα συχνοτήτων του βαθμού κορεσμού με βάσεις BKB (%)	92
7.29	Χωρική βαθμού κορεσμού με βάσεις BKB	92
7.30	Διάγραμμα ποσοστών συμμετοχής των διαφόρων φάσεων Fe επί των ολικών	102
7.31	Χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων του Fe (ppm) στα εδάφη της περιοχής έρευνας (A: ολικές, B: υδατοδιαλυτές, Γ: ανταλλάξιμες, Δ: δεσμευμένες μορφές στις ανθρακικές κι οργανικές ενώσεις και τα οξείδια Fe & Mn, και E: Δεσμευμένες μορφές στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών).	103
7.32	Ιστογράμματα συχνοτήτων των συγκεντρώσεων του Fe (ppm) των εδαφών της περιοχής έρευνας (A: ολικές, B: υδατοδιαλυτές, Γ: ανταλλάξιμες, Δ: δεσμευμένες μορφές στις ανθρακικές κι οργανικές ενώσεις και τα οξείδια Fe & Mn, και E: Δεσμευμένες μορφές στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών).	104
7.33	Διάγραμμα ποσοστών συμμετοχής των διαφόρων φάσεων Mn επί των ολικών	105
7.34	Χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων του Mn (ppm) στα εδάφη της περιοχής έρευνας (A: ολικές, B: υδατοδιαλυτές, Γ: ανταλλάξιμες, Δ: δεσμευμένες μορφές στις ανθρακικές κι οργανικές ενώσεις και τα οξείδια Fe & Mn, και E: Δεσμευμένες μορφές στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών).	106
7.35	Ιστογράμματα συχνοτήτων των συγκεντρώσεων του Mn (ppm) των εδαφών της περιοχής έρευνας (A: Ολικές, B: υδατοδιαλυτές, Γ: ανταλλάξιμες, Δ: δεσμευμένες μορφές στις ανθρακικές κι οργανικές ενώσεις και τα οξείδια Fe & Mn, και E: Δεσμευμένες μορφές στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών).	107
7.36	Διάγραμμα ποσοστών συμμετοχής των διαφόρων φάσεων Cu επί των ολικών	109
7.37	Χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων του Cu (ppm) στα εδάφη της περιοχής έρευνας (A: Ολικές B: υδατοδιαλυτές, Γ: ανταλλάξιμες Δ: δεσμευμένες μορφές στις ανθρακικές κι οργανικές ενώσεις και τα οξείδια Fe & Mn, και E: Δεσμευμένες μορφές στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών).	110
7.38	Ιστογράμματα συχνοτήτων των συγκεντρώσεων Cu (ppm) των εδαφών (A: Ολικές B: υδατοδιαλυτές, Γ: ανταλλάξιμες Δ: δεσμευμένες μορφές στις ανθρ. κι οργ.ενώσεις και τα οξείδια και E: Δεσμευμένες μορφές στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών).	111
7.39	Διάγραμμα ποσοστών συμμετοχής των διαφόρων φάσεων Zn επί των ολικών	113

7.40	Χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων του Zn (ppm) στα εδάφη της περιοχής έρευνας (Α: Ολικές Β: υδατοδιαλυτές, Γ: ανταλλάξιμες Δ: δεσμευμένες μορφές στις ανθρακικές κι οργανικές ενώσεις και τα οξείδια Fe & Mn, και Ε: Δεσμευμένες μορφές στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών).	114
7.41	Ιστογράμματα συχνοτήτων των συγκεντρώσεων του Zn (ppm) των εδαφών της περιοχής έρευνας (Α: Ολικές Β: υδατοδιαλυτές, Γ: ανταλλάξιμες Δ: δεσμευμένες μορφές στις ανθρακικές κι οργανικές ενώσεις και τα οξείδια Fe & Mn, και Ε: Δεσμευμένες μορφές στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών).	115
7.42	Διάγραμμα ποσοστών συμμετοχής των διαφόρων φάσεων Cd επί των ολικών	117
7.43	Χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων του Cd (ppm) στα εδάφη της περιοχής έρευνας (Α: Ολικές Β: υδατοδιαλυτές, Γ: ανταλλάξιμες Δ: δεσμευμένες μορφές στις ανθρακικές κι οργανικές ενώσεις και τα οξείδια Fe & Mn, και Ε: Δεσμευμένες μορφές στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών).	118
7.44	Ιστογράμματα συχνοτήτων των συγκεντρώσεων του Cd (ppm) των εδαφών της περιοχής έρευνας (Α: Ολικές Β: υδατοδιαλυτές, Γ: ανταλλάξιμες Δ: δεσμευμένες μορφές στις ανθρακικές κι οργανικές ενώσεις και τα οξείδια Fe & Mn, και Ε: Δεσμευμένες μορφές στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών).	119
7.45	Διάγραμμα ποσοστών συμμετοχής των διαφόρων φάσεων Pb επί των ολικών	121
7.46	Χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων του Pb (ppm) στα εδάφη της περιοχής έρευνας (Α: Ολικές Β: υδατοδιαλυτές, Γ: ανταλλάξιμες Δ: δεσμευμένες μορφές στις ανθρακικές κι οργανικές ενώσεις και τα οξείδια Fe & Mn, και Ε: Δεσμευμένες μορφές στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών).	122
7.47	Ιστογράμματα συχνοτήτων των συγκεντρώσεων του Pb (ppm) των εδαφών της περιοχής έρευνας (Α: Ολικές Β: υδατοδιαλυτές, Γ: ανταλλάξιμες Δ: δεσμευμένες μορφές στις ανθρακικές κι οργανικές ενώσεις και τα οξείδια Fe & Mn, και Ε: Δεσμευμένες μορφές στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών).	123
7.48	Διάγραμμα ποσοστών συμμετοχής των διαφόρων φάσεων Ni επί των ολικών	125
7.49	Χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων του Ni (ppm) στα εδάφη της περιοχής έρευνας (Α: Ολικές Β: υδατοδιαλυτές, Γ: ανταλλάξιμες Δ: δεσμευμένες μορφές στις ανθρακικές κι οργανικές ενώσεις και τα οξείδια Fe & Mn, και Ε: Δεσμευμένες μορφές στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών).	125
7.50	Ιστογράμματα συχνοτήτων των συγκεντρώσεων του Ni (ppm) των εδαφών της περιοχής έρευνας (Α: Ολικές Β: υδατοδιαλυτές, Γ: ανταλλάξιμες Δ: δεσμευμένες μορφές στις ανθρακικές κι οργανικές ενώσεις και τα οξείδια Fe & Mn, και Ε: Δεσμευμένες μορφές στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών).	126
7.51	Διάγραμμα ποσοστών συμμετοχής των διαφόρων φάσεων Co επί των ολικών	127
7.52	Χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων του Co (ppm) στα εδάφη της περιοχής έρευνας (Α: Ολικές Β: υδατοδιαλυτές, Γ: ανταλλάξιμες Δ: δεσμευμένες μορφές στις ανθρακικές κι οργανικές ενώσεις και τα οξείδια Fe & Mn, και Ε: Δεσμευμένες μορφές στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών).	128
7.53	Ιστογράμματα συχνοτήτων των συγκεντρώσεων του Co (ppm) των εδαφών της περιοχής έρευνας (Α: Ολικές Β: υδατοδιαλυτές, Γ: ανταλλάξιμες Δ: δεσμευμένες μορφές στις ανθρακικές κι οργανικές ενώσεις και τα οξείδια Fe & Mn, και Ε: Δεσμευμένες μορφές στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών).	129
7.54	Διάγραμμα ποσοστών συμμετοχής των διαφόρων φάσεων Cr επί των ολικών	130
7.55	Χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων του Cr (ppm) στα εδάφη της περιοχής έρευνας (Α: Ολικές Β: υδατοδιαλυτές, Γ: ανταλλάξιμες Δ: δεσμευμένες μορφές στις ανθρακικές κι οργανικές ενώσεις και τα οξείδια Fe & Mn, και Ε: Δεσμευμένες μορφές στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών).	131
7.56	Ιστογράμματα συχνοτήτων των συγκεντρώσεων του Cr (ppm) των εδαφών της περιοχής έρευνας (Α: Ολικές Β: υδατοδιαλυτές, Γ: ανταλλάξιμες Δ: δεσμευμένες μορφές στις ανθρακικές κι οργανικές ενώσεις και τα οξείδια Fe & Mn, και Ε: Δεσμευμένες μορφές στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών).	132
8.1	Τα σημεία δειγματοληψίας νερού	140
8.2	Ιστόγραμμα συχνοτήτων θερμοκρασίας των υπόγειων νερών στις δύο περιόδους	159
8.3	Χωρική κατανομή της θερμοκρασίας (°C) των υπόγειων υδάτων	160
8.4	Ιστόγραμμα συχνοτήτων pH στα υπόγεια νερά της περιοχής	162
8.5	Χωρική κατανομή του pH των υπόγειων υδάτων	162
8.6	Ιστόγραμμα συχνοτήτων ηλεκτρικής αγωγιμότητας στα υπόγεια νερά της περιοχής	164

8.7	Χωρική κατανομή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	164
8.8	Σχέση EC-TDS στα νερά της περιοχής	165
8.9	Ιστόγραμμα συχνοτήτων των TDS στα υπόγεια νερά της περιοχής	166
8.10	Χωρική κατανομή των TDS των υπόγειων υδάτων	167
8.11	Κατανομή της σκληρότητας των πηγαδιών, πηγών και των γεωτρήσεων στο τριγωνικό διάγραμμα σκληρότητας	169
8.12	Ιστόγραμμα συχνοτήτων ολικής και ανθρακικής σκληρότητας ( $^{\circ}\text{dH}$ ) στα υπόγεια νερά της περιοχής	170
8.13	Χωρική κατανομή της ολικής σκληρότητας ( $^{\circ}\text{dH}$ ) των υπόγειων νερών	170
8.14	Ιστόγραμμα συχνοτήτων συγκεντρώσεων $\text{Ca}^{2+}$ στα νερά της περιοχής ( $\text{mg}/\text{l}$ )	173
8.15	Χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων $\text{Ca}^{2+}$ των υπόγειων υδάτων ( $\text{mg}/\text{l}$ )	173
8.16	Ιστόγραμμα συχνοτήτων συγκεντρώσεων $\text{Mg}^{2+}$ στα νερά της περιοχής ( $\text{mg}/\text{l}$ )	175
8.17	Χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων $\text{Mg}^{2+}$ των υπόγειων υδάτων ( $\text{mg}/\text{l}$ )	176
8.18	Ιστόγραμμα συχνοτήτων συγκεντρώσεων $\text{K}^{+}$ στα νερά της περιοχής ( $\text{mg}/\text{l}$ )	177
8.19	Χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων $\text{K}^{+}$ των υπόγειων υδάτων ( $\text{mg}/\text{l}$ )	178
8.20	Ιστόγραμμα συχνοτήτων συγκεντρώσεων $\text{Na}^{+}$ στα νερά της περιοχής ( $\text{mg}/\text{l}$ )	179
8.21	Χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων $\text{Na}^{+}$ των υπόγειων υδάτων ( $\text{mg}/\text{l}$ )	180
8.22	Ιστόγραμμα συχνοτήτων συγκεντρώσεων $\text{HCO}_3^{-}$ στα νερά της περιοχής ( $\text{mg}/\text{l}$ )	182
8.23	Χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων $\text{HCO}_3^{-}$ των υπόγειων υδάτων ( $\text{mg}/\text{l}$ )	182
8.24	Ιστόγραμμα συχνοτήτων συγκεντρώσεων $\text{Cl}^{-}$ στα νερά της περιοχής ( $\text{mg}/\text{l}$ )	184
8.25	Χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων $\text{Cl}^{-}$ των υπόγειων υδάτων ( $\text{mg}/\text{l}$ )	184
8.26	Ιστόγραμμα συχνοτήτων συγκεντρώσεων $\text{SO}_4^{2-}$ στα νερά της περιοχής ( $\text{mg}/\text{l}$ ).	187
8.27	Χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων $\text{SO}_4^{2-}$ των υπόγειων υδάτων ( $\text{mg}/\text{l}$ )	187
8.28	Ιστόγραμμα συχνοτήτων συγκεντρώσεων $\text{NO}_3^{-}$ στα νερά της περιοχής ( $\text{mg}/\text{l}$ )	191
8.29	Χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων $\text{NO}_3^{-}$ των υπόγειων υδάτων ( $\text{mg}/\text{l}$ )	191
8.30	Ιστόγραμμα συχνοτήτων συγκεντρώσεων $\text{NH}_4^{+}$ στα νερά της περιοχής ( $\text{mg}/\text{l}$ )	192
8.31	Χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων $\text{NH}_4^{+}$ των υπόγειων υδάτων ( $\text{mg}/\text{l}$ )	193
8.32	Ιστόγραμμα συχνοτήτων συγκεντρώσεων $\text{PO}_4^{3-}$ στα νερά της περιοχής ( $\text{mg}/\text{l}$ )	194
8.33	Χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων $\text{PO}_4^{3-}$ των υπόγειων υδάτων ( $\text{mg}/\text{l}$ )	195
8.34	Ιστόγραμμα συχνοτήτων συγκεντρώσεων $\text{Br}^{-}$ στα νερά της περιοχής ( $\text{mg}/\text{l}$ ).	196
8.35	Χωρική κατανομή ιόντων $\text{Br}^{-}$ ( $\text{mg}/\text{l}$ )	196
8.36	Ιστόγραμμα συχνοτήτων συγκεντρώσεων $\text{I}^{-}$ στα νερά της περιοχής ( $\text{mg}/\text{l}$ )	198
8.37	Χωρική κατανομή ιόντων $\text{I}^{-}$ ( $\text{mg}/\text{l}$ )	198
8.38	Ιστόγραμμα συχνοτήτων συγκεντρώσεων $\text{F}^{-}$ στα νερά της περιοχής ( $\text{mg}/\text{l}$ )	200
8.39	Χωρική κατανομή ιόντων $\text{F}^{-}$ ( $\text{mg}/\text{l}$ )	200
8.40	Ιστόγραμμα συχνοτήτων συγκεντρώσεων $\text{SiO}_2$ στα νερά της περιοχής ( $\text{mg}/\text{l}$ )	202
8.41	Χωρική κατανομή συγκεντρώσεων $\text{SiO}_2$ ( $\text{mg}/\text{l}$ )	202
8.42	Διάγραμμα κατανομής των μέσων όρων των συγκεντρώσεων των βαρέων μετάλλων	205
8.43	Ιστόγραμμα συγκεντρώσεων ολικού $\text{Fe}$ στα υπόγεια νερά	206
8.44	Διάγραμμα συγκεντρώσεων ολικού $\text{Fe}$ στα ύδατα των τεταρτογενών σχηματισμών συγκριτικά με το ανώτατο όριο της Ε.Ε. για τα πόσιμα νερά (0,2 $\text{mg}/\text{l}$ )	206
8.45	Διάγραμμα συγκεντρώσεων ολικού $\text{Fe}$ στα ύδατα των νεογενών σχηματισμών συγκριτικά με το ανώτατο όριο της Ε.Ε. για τα πόσιμα νερά (0,2 $\text{mg}/\text{l}$ )	206
8.46	Διάγραμμα συγκεντρώσεων ολικού $\text{Fe}$ στα ύδατα των ανθρακικών σχηματισμών συγκριτικά με το ανώτατο όριο της Ε.Ε. για τα πόσιμα νερά (0,2 $\text{mg}/\text{l}$ )	206
8.47	Χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων του $\text{Fe}$ των υπόγειων νερών	207
8.48	Χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων του $\text{Fe}$ της υδατοδιαλυτής φάσεως των εδαφικών δειγμάτων	207
8.49	Χωρική κατανομή των δεσμευμένων μορφών $\text{Fe}$ στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών ( $\text{mg}/\text{l}$ )	207
8.50	Ιστόγραμμα συγκεντρώσεων $\text{Mn}$ στα υπόγεια νερά	210
8.51	Διάγραμμα των συγκεντρώσεων μαγγανίου στα ύδατα των τεταρτογενών σχηματισμών συγκριτικά με το ανώτατο επιτρεπτό όριο της Ε.Ε. για τα πόσιμα νερά (0,05 $\text{mg}/\text{l}$ ).	210
8.52	Διάγραμμα των συγκεντρώσεων μαγγανίου στα ύδατα των νεογενών σχηματισμών συγκριτικά με το ανώτατο επιτρεπτό όριο της Ε.Ε. για τα πόσιμα νερά (0,05 $\text{mg}/\text{l}$ ).	210
8.53	Διάγραμμα των συγκεντρώσεων Μαγγανίου στα ύδατα των ανθρακικών σχηματισμών συγκριτικά με το ανώτατο επιτρεπτό όριο της Ε.Ε. για τα πόσιμα νερά (0,05 $\text{mg}/\text{l}$ ).	210

8.54	Χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων του Mn των υπόγειων νερών	211
8.55	Χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων του Mn της υδατοδιαλυτής φάσεως των εδαφικών δειγμάτων	211
8.56	Χωρική κατανομή των δεσμευμένων μορφών Mn στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών (mg/l)	211
8.57	Ιστόγραμμα συγκεντρώσεων Cu στα υπόγεια νερά	214
8.58	Διάγραμμα των συγκεντρώσεων Χαλκού στα ύδατα των τεταρτογενών σχηματισμών συγκριτικά με το ανώτατο επιτρεπτό όριο της Ε.Ε. για τα πόσιμα νερά (0,1 mg/l).	214
8.59	Διάγραμμα των συγκεντρώσεων Χαλκού στα ύδατα των νεογενών σχηματισμών συγκριτικά με το ανώτατο επιτρεπτό όριο της Ε.Ε. για τα πόσιμα νερά (0,1 mg/l).	214
8.60	Διάγραμμα των συγκεντρώσεων Χαλκού στα ύδατα των ανθρακικών σχηματισμών συγκριτικά με το ανώτατο επιτρεπτό όριο της Ε.Ε. για τα πόσιμα νερά (0,1 mg/l).	214
8.61	Χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων του Cu των υπόγειων νερών	215
8.62	Χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων του Cu της υδατοδιαλυτής φάσεως των εδαφικών δειγμάτων	215
8.63	Χωρική κατανομή των δεσμευμένων μορφών Cu στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών (mg/l)	215
8.64	Ιστόγραμμα συγκεντρώσεων Zn στα υπόγεια νερά	218
8.65	Διάγραμμα των συγκεντρώσεων Ψευδαργύρου στα ύδατα των τεταρτογενών σχηματισμών συγκριτικά με το ανώτατο όριο της Ε.Ε. για τα πόσιμα νερά (100 µg/l).	218
8.66	Διάγραμμα των συγκεντρώσεων Ψευδαργύρου στα ύδατα των νεογενών σχηματισμών συγκριτικά με το ανώτατο επιτρεπτό όριο της Ε.Ε. για τα πόσιμα νερά (100 µg/l).	218
8.67	Διάγραμμα των συγκεντρώσεων Ψευδαργύρου στα ύδατα των ανθρακικών σχηματισμών συγκριτικά με το ανώτατο επιτρεπτό όριο της Ε.Ε. για τα πόσιμα νερά (100µg/l).	218
8.68	Χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων του Zn των υπόγειων νερών	219
8.69	Χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων του Zn της υδατοδιαλυτής φάσεως των εδαφικών δειγμάτων	219
8.70	Χωρική κατανομή των δεσμευμένων μορφών Zn στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών (mg/l)	219
8.71	Ιστόγραμμα συγκεντρώσεων Cd στα υπόγεια νερά	221
8.72	Διάγραμμα των συγκεντρώσεων Καδμίου στα ύδατα των τεταρτογενών σχηματισμών συγκριτικά με το ανώτατο επιτρεπτό όριο της Ε.Ε. για τα πόσιμα νερά (0,005 mg/l).	221
8.73	Διάγραμμα των συγκεντρώσεων Καδμίου στα ύδατα των νεογενών σχηματισμών συγκριτικά με το ανώτατο επιτρεπτό όριο της Ε.Ε. για τα πόσιμα νερά (0,005 mg/l).	221
8.74	Διάγραμμα των συγκεντρώσεων Καδμίου στα ύδατα των ανθρακικών σχηματισμών συγκριτικά με το ανώτατο επιτρεπτό όριο της Ε.Ε. για τα πόσιμα νερά (0,005 mg/l).	221
8.75	Χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων του Cd των υπόγειων νερών	222
8.76	Χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων του Cd της υδατοδιαλυτής φάσεως των εδαφικών δειγμάτων	222
8.77	Χωρική κατανομή των δεσμευμένων μορφών Cd στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών (mg/l)	222
8.78	Ιστόγραμμα συγκεντρώσεων Pb στα υπόγεια νερά	224
8.79	Διάγραμμα συγκεντρώσεων Μολύβδου στα ύδατα των τεταρτογενών σχηματισμών συγκριτικά με το ανώτατο επιτρεπτό όριο της Ε.Ε. για τα πόσιμα νερά (0,05 mg/l).	224
8.80	Διάγραμμα συγκεντρώσεων μολύβδου στα ύδατα των νεογενών σχηματισμών συγκριτικά με το ανώτατο επιτρεπτό όριο της Ε.Ε. για τα πόσιμα νερά (0,05 mg/l).	224
8.81	Διάγραμμα συγκεντρώσεων μολύβδου στα ύδατα των ανθρακικών σχηματισμών συγκριτικά με το ανώτατο επιτρεπτό όριο της Ε.Ε. για τα πόσιμα νερά (0,05 mg/l).	224
8.82	Χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων του Pb των υπόγειων νερών	225
8.83	Χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων του Pb της υδατοδιαλυτής φάσεως των εδαφικών δειγμάτων	225
8.84	Χωρική κατανομή των δεσμ. μορφών Pb στο πλέγμα των πρωτογ. ορυκτών (mg/l)	225
8.85	Ιστόγραμμα συγκεντρώσεων Ni στα υπόγεια νερά	228
8.86	Διάγραμμα των συγκεντρώσεων Νικελίου στα ύδατα των τεταρτογενών σχ/μών συγκριτικά με το ανώτατο επιτρεπτό όριο της Ε.Ε. για τα πόσιμα νερά (0,05 mg/l).	228

8.87	Διάγραμμα των συγκεντρώσεων Νικελίου στα ύδατα των νεογενών σχηματισμών συγκριτικά με το ανώτατο επιτρεπτό όριο της Ε.Ε. για τα πόσιμα νερά (0,05 mg/l).	228
8.88	Διάγραμμα των συγκεντρώσεων Νικελίου στα ύδατα των ανθρακικών σχηματισμών συγκριτικά με το ανώτατο επιτρεπτό όριο της Ε.Ε. για τα πόσιμα νερά (0,05 mg/l).	228
8.89	Χωρική κατανομή Νί στα υπόγεια ύδατα της περιοχής	228
8.90	Χωρική κατανομή των δεσμευμένων μορφών Νί στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών (mg/l)	228
8.91	Ιστόγραμμα συγκεντρώσεων Co στα υπόγεια νερά	230
8.92	Διάγραμμα των συγκεντρώσεων Co στα ύδατα των τεταρτογενών σχηματισμών συγκριτικά με το ανώτατο επιτρεπτό όριο της Ε.Ε. για τα πόσιμα νερά (0,05 mg/l).	230
8.93	Διάγραμμα των συγκεντρώσεων Co στα ύδατα των νεογενών σχηματισμών συγκριτικά με το ανώτατο επιτρεπτό όριο της Ε.Ε. για τα πόσιμα νερά (0,05 mg/l).	230
8.94	Διάγραμμα των συγκεντρώσεων Co στα ύδατα των ανθρακικών σχηματισμών συγκριτικά με το ανώτατο επιτρεπτό όριο της Ε.Ε. για τα πόσιμα νερά (0,05 mg/l).	230
8.95	Χωρική κατανομή Co στα υπόγεια ύδατα της περιοχής	231
8.96	Χωρική κατανομή των δεσμευμένων μορφών Co στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών (mg/l)	231
8.97	Ιστόγραμμα συγκεντρώσεων Cr <sub>ολ</sub> στα υπόγεια νερά	233
8.98	Διάγραμμα των συγκεντρώσεων Cr <sub>ολ</sub> στα ύδατα των τεταρτογενών σχηματισμών συγκριτικά με το ανώτατο επιτρεπτό όριο της Ε.Ε. για τα πόσιμα νερά (0,05mg/l).	233
8.99	Διάγραμμα των συγκεντρώσεων Cr <sub>ολ</sub> στα ύδατα των νεογενών σχηματισμών της περιοχής συγκριτικά με το ανώτατο επιτρεπτό όριο της Ε.Ε. για τα πόσιμα νερά (0,05mg/l).	233
8.100	Διάγραμμα των συγκεντρώσεων Cr <sub>ολ</sub> στα ύδατα των ανθρακικών σχηματισμών συγκριτικά με το ανώτατο επιτρεπτό όριο της Ε.Ε. για τα πόσιμα νερά (0,05mg/l).	233
8.101	Χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων του Cr <sub>ολ</sub> των υπόγειων νερών	234
8.102	Χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων του Cr <sub>ολ</sub> της υδατοδιαλυτής φάσεως των εδαφικών δειγμάτων	234
8.103	Χωρική κατανομή των δεσμευμένων μορφών Cr <sub>ολ</sub> στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών (mg/l)	234
8.104	Ιστόγραμμα συγκεντρώσεων Sr στα υπόγεια νερά	236
8.105	Διάγραμμα των συγκεντρώσεων Sr στα ύδατα των τεταρτογενών σχηματισμών της περιοχής.	236
8.106	Διάγραμμα των συγκεντρώσεων Sr στα ύδατα των νεογενών σχηματισμών της περιοχής.	236
8.107	Διάγραμμα των συγκεντρώσεων Sr στα ύδατα των ανθρακικών σχηματισμών.	236
8.108	Χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων του Sr των υπόγειων νερών	236
8.109	Τα σημεία υδροληψίας επιφανειακών υδάτων της περιοχής	239
8.110	Οι θερμοκρασίες στα επιφανειακά ύδατα του Μεγάλου Ρέματος συγκριτικά με τις θερμοκρασίες αέρα	241
8.111	Οι θερμοκρασίες στα επιφανειακά ύδατα του Ερασίνου συγκριτικά με τις θερμοκρασίες αέρα	242
8.112	Οι τιμές pH στα επιφανειακά ύδατα του Μεγάλου Ρέματος	243
8.113	Οι τιμές pH στα επιφανειακά ύδατα του Ερασίνου	244
8.114	Οι τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC μS/cm) στα επιφανειακά ύδατα του Μεγάλου Ρέματος	245
8.115	Οι τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC μS/cm) στα επιφανειακά ύδατα του Ερασίνου	246
8.116	Διακύμανση των συγκεντρώσεων των ολικών διαλυμένων στερεών (TDS mg/l) σε σχέση με την παροχή στα επιφανειακά ύδατα του Μεγάλου Ρέματος	248
8.117	Διακύμανση των συγκεντρώσεων των ολικών διαλυμένων στερεών (TDS mg/l) σε σχέση με την παροχή στα επιφανειακά ύδατα του Ερασίνου	249
8.118	Σχέση παροχής - φωσφορικών ιόντων στο σημείο Ερ.2	249
8.119	Οι τιμές ολικής κι ανθρακικής σκληρότητας (°dH) σε σχέση με την παροχή στα επιφανειακά ύδατα του Μεγάλου Ρέματος	251
8.120	Οι τιμές ολικής κι ανθρακικής σκληρότητας (°dH) σε σχέση με την παροχή στα επιφανειακά ύδατα του Ερασίνου	251
8.121	Τριγωνικό διάγραμμα σκληρότητας Μεγάλου Ρέματος	253
8.122	Τριγωνικό διάγραμμα σκληρότητας Ερασίνου	253

8.123	Οι τιμές ανάλωσης $\text{KMnO}_4$ (mg/l) στα επιφανειακά ύδατα του Μεγάλου Ρέματος	254
8.124	Οι τιμές ανάλωσης $\text{KMnO}_4$ (mg/l) στα επιφανειακά ύδατα του Ερασίνου	255
8.125	Συγκεντρώσεις κύριων στοιχείων (mg/l) στα επιφανειακά ύδατα του Μεγάλου Ρέματος	256
8.126	Συγκεντρώσεις κύριων στοιχείων (mg/l) στα επιφανειακά ύδατα του Ερασίνου	257
8.127	Συγκεντρώσεις ιχνοενώσεων (mg/l) στα επιφανειακά ύδατα του Μεγάλου Ρέματος	265
8.128	Συγκεντρώσεις ιχνοενώσεων (mg/l) στα επιφανειακά ύδατα του Ερασίνου	265
8.129	Γραφική απεικόνιση του μεταφερόμενου ρυπαντικού φορτίου ( $\text{Cl}^-$ , $\text{Na}^+$ , $\text{SO}_4^{2-}$ , $\text{NO}_3^-$ , $\text{NH}_4^+$ και $\text{PO}_4^{3-}$ ) μέσα από το Μεγάλο Ρέμα και τον Ερασίνο.	271
8.130	Γραφική απεικόνιση του ετήσιου ρυπαντικού φορτίου που μεταφέρεται μέσα από το Μεγάλο Ρέμα και τον Ερασίνο δημιουργώντας ευτροφικές καταστάσεις στους κόλπους Ραφήνας και Βραυρώνας αντίστοιχα.	271
8.131	Γραφική απεικόνιση των μέσων όρων συγκέντρωσης των βαρέων μετάλλων που προσδιορίζονται στα νερά του Μεγάλου Ρέματος Ραφήνας.	274
8.132	Γραφική απεικόνιση των μέσων όρων συγκέντρωσης των βαρέων μετάλλων που προσδιορίζονται στα νερά του Ερασίνου.	274
8.133	Διάγραμμα των συγκεντρώσεων Ολικού Σιδήρου στο Μεγάλο Ρέμα.	275
8.134	Διάγραμμα των συγκεντρώσεων Ολικού Σιδήρου στον ποταμό Ερασίνο.	275
8.135	Διάγραμμα των συγκεντρώσεων Μαγγανίου στο Μεγάλο Ρέμα.	276
8.136	Διάγραμμα των συγκεντρώσεων Μαγγανίου στον ποταμό Ερασίνο.	276
8.137	Διάγραμμα των συγκεντρώσεων Χαλκού στο Μεγάλο Ρέμα.	277
8.138	Διάγραμμα των συγκεντρώσεων Χαλκού στον ποταμό Ερασίνο.	277
8.139	Διάγραμμα των συγκεντρώσεων Ψευδαργύρου στο Μεγάλο Ρέμα.	277
8.140	Διάγραμμα των συγκεντρώσεων Ψευδαργύρου στον ποταμό Ερασίνο.	277
8.141	Διάγραμμα των συγκεντρώσεων Καδμίου στο Μεγάλο Ρέμα.	278
8.142	Διάγραμμα των συγκεντρώσεων Καδμίου στον ποταμό Ερασίνο.	278
8.143	Διάγραμμα των συγκεντρώσεων Μολύβδου στο Μεγάλο Ρέμα.	279
8.144	Διάγραμμα των συγκεντρώσεων Μολύβδου στον ποταμό Ερασίνο.	279
8.145	Διάγραμμα των συγκεντρώσεων Νικελίου στο Μεγάλο Ρέμα.	279
8.146	Διάγραμμα των συγκεντρώσεων Νικελίου στον ποταμό Ερασίνο.	279
8.147	Διάγραμμα των συγκεντρώσεων Χρωμίου στο Μεγάλο Ρέμα.	280
8.148	Διάγραμμα των συγκεντρώσεων Χρωμίου στον ποταμό Ερασίνο.	280
8.149	Διάγραμμα των συγκεντρώσεων Στροντίου στο Μεγάλο Ρέμα.	281
8.150	Διάγραμμα των συγκεντρώσεων Στροντίου στον ποταμό Ερασίνο.	281
8.151	Γραφική απεικόνιση του μεταφερόμενου όγκου των διαφόρων μετάλλων στα επιφανειακά νερά του Μεγάλου Ρέματος Ραφήνας και του Ερασίνου.	283
8.152	Γραφική απεικόνιση των διαφορετικών όγκων των βαρέων μετάλλων που μεταφέρονται στα επιφανειακά νερά του Μεγάλου Ρέματος Ραφήνας και του Ερασίνου.	283
8.153	Διάγραμμα Piper – Ταξινόμηση υπόγειου νερού.	287
8.154	Ταξινόμηση των υπόγειων υδάτων των Τεταρτογενών σχηματισμών βάσει του Piper διαγράμματος (ξηρής περιόδου).	288
8.155	Ταξινόμηση των υπόγειων υδάτων των Τεταρτογενών σχηματισμών βάσει του Piper διαγράμματος (υγρής περιόδου).	288
8.156	Ταξινόμηση των υπόγειων υδάτων των Νεογενών σχηματισμών βάσει του Piper διαγράμματος (ξηρής περιόδου).	290
8.157	Ταξινόμηση των υπόγειων υδάτων των Νεογενών σχηματισμών βάσει του Piper διαγράμματος (υγρής περιόδου).	290
8.158	Ταξινόμηση των υπόγειων υδάτων των ανθρακικών σχηματισμών βάσει του Piper διαγράμματος (ξηρής περιόδου).	294
8.159	Ταξινόμηση των υπόγειων υδάτων των ανθρακικών σχηματισμών βάσει του Piper διαγράμματος (υγρής περιόδου).	294
8.160	Διάγραμμα Piper στα επιφανειακά ύδατα του Ερασίνου ξηρής και υγρής περιόδου.	296
8.161	Διάγραμμα Piper στα επιφανειακά ύδατα του Μεγάλου Ρέματος ξηρής και υγρής περιόδου.	296
8.162	Διαστελλόμενο Διάγραμμα Durov	298
8.163	Ταξινόμηση των υπόγειων υδάτων των Τεταρτογενών σχηματισμών βάσει του Durov διαγράμματος (ξηρής περιόδου).	299

8.164	Ταξινόμηση των υπόγειων υδάτων των Τεταρτογενών σχηματισμών βάσει του Durov διαγράμματος (υγρής περιόδου).	299
8.165	Ταξινόμηση των υπόγειων υδάτων των Νεογενών σχηματισμών βάσει του Durov διαγράμματος (ξηρή περίοδος).	301
8.166	Ταξινόμηση των υπόγειων υδάτων των Νεογενών σχηματισμών βάσει του Durov διαγράμματος (υγρής περιόδου).	301
8.167	Ταξινόμηση των υπόγειων υδάτων των ανθρακικών σχηματισμών βάσει του Durov διαγράμματος (ξηρή περίοδος).	303
8.168	Ταξινόμηση των υπόγειων υδάτων των ανθρακικών σχηματισμών βάσει του Durov διαγράμματος (υγρής περιόδου).	303
8.169	Ταξινόμηση των επιφανειακών υδάτων του Ερασίνου βάσει του Durov διαγράμματος (ξηρής και υγρής περιόδου).	304
8.170	Ταξινόμηση των επιφανειακών υδάτων του Μεγάλου Ρέματος Ραφήνας βάσει του Durov διαγράμματος (ξηρής και υγρής περιόδου).	304
8.171	Ταξινόμηση της καταλληλότητας του αρδευτικού νερού κατά Richards (1954)	312
8.172	Ταξινόμηση της καταλληλότητας των υδάτων των τεταρτογενών σχηματισμών κατά Richards	313
8.173	Ταξινόμηση της καταλληλότητας των υδάτων των νεογενών σχηματισμών κατά Richards	314
8.174	Ταξινόμηση της καταλληλότητας των υδάτων των ανθρακικών σχηματισμών κατά Richards	315
8.175	Ταξινόμηση της καταλληλότητας των επιφανειακών υδάτων κατά Richards	316
8.176	Συχνότητα καταλληλότητας υδάτων τεταρτογενών σχηματισμών της περιοχής κατά Richards	319
8.177	Συχνότητα καταλληλότητας υδάτων νεογενών σχηματισμών της περιοχής κατά Richards	319
8.178	Συχνότητα καταλληλότητας υδάτων ανθρακικών σχηματισμών της περιοχής κατά Richards	319
8.179	Συχνότητα καταλληλότητας επιφανειακών υδάτων της περιοχής κατά Richards	319
8.180	Ταξινόμηση της καταλληλότητας του αρδευτικού νερού κατά Wilcox.	320
8.181	Ταξινόμηση της καταλληλότητας των υδάτων των τεταρτογενών σχηματισμών κατά Wilcox	321
8.182	Ταξινόμηση της καταλληλότητας των υδάτων των νεογενών σχηματισμών κατά Wilcox	322
8.183	Ταξινόμηση της καταλληλότητας των υδάτων των ανθρακικών σχηματισμών κατά Wilcox	323
8.184	Ταξινόμηση της καταλληλότητας των επιφανειακών υδάτων κατά Wilcox	324
8.185	Συχνότητα καταλληλότητας υδάτων τεταρτογενών σχηματισμών της περιοχής κατά Wilcox	325
8.186	Συχνότητα καταλληλότητας υδάτων νεογενών σχηματισμών της περιοχής κατά Wilcox	325
8.187	Συχνότητα καταλληλότητας υδάτων ανθρακικών σχηματισμών της περιοχής κατά Wilcox	325
8.188	Συχνότητα καταλληλότητας επιφανειακών υδάτων της περιοχής κατά Wilcox	325
8.189	Χωρική κατανομή της καταλληλότητας για άρδευση κατά Richards	326
8.190	Χωρική κατανομή της καταλληλότητας για άρδευση κατά Wilcox	326
8.191	Γραφική απεικόνιση του διαγράμματος διασποράς των τιμών ιοντικής σχέσης NaCl και η ευθεία που ενώνει τις δυο ακραίες τιμές των νερών της βροχής και της θάλασσας.	328
8.192	Γραφική απεικόνιση του διαγράμματος διασποράς των τιμών ιοντικής σχέσης $\text{CaHCO}_3$ και η ευθεία που ενώνει τις δυο ακραίες τιμές των νερών της βροχής και της θάλασσας.	329
8.193	Γραφική απεικόνιση του διαγράμματος διασποράς των τιμών ιοντικής σχέσης $\text{Ca}:\text{SO}_4$	330
8.194	Κορεσμός υπόγειων νερών στον ασβεστίτη	332
8.195	Κορεσμός υπόγειων νερών στον αραγωνίτη	332
8.196	Κορεσμός υπόγειων νερών στον δολομίτη	333
8.197	Κορεσμός υπόγειων νερών στον στροντσιανίτη	333
8.198	Κορεσμός υπόγειων νερών στον σιδερίτη	333
8.199	Κορεσμός υπόγειων νερών στον μαγνησίτη	333

<b>8.200</b>	Κορεσμός υπόγειων νερών στον ανυδρίτη	<b>333</b>
<b>8.201</b>	Κορεσμός υπόγειων νερών στον γύψο	<b>333</b>
<b>8.202</b>	Χωρική κατανομή του 1 <sup>ου</sup> παράγοντα της ξηρής περιόδου αντίστοιχα	<b>345</b>
<b>8.203</b>	Χωρική κατανομή του 2 <sup>ου</sup> παράγοντα της ξηρής περιόδου	<b>345</b>
<b>8.204</b>	Χωρική κατανομή του 3 <sup>ου</sup> παράγοντα της ξηρής περιόδου αντίστοιχα	<b>345</b>
<b>8.205</b>	Χωρική κατανομή του 4 <sup>ου</sup> παράγοντα της ξηρής περιόδου αντίστοιχα	<b>345</b>
<b>8.206</b>	Χωρική κατανομή του 5 <sup>ου</sup> παράγοντα της ξηρής περιόδου	<b>346</b>
<b>8.207</b>	Χωρική κατανομή του 1 <sup>ου</sup> παράγοντα της υγρής περιόδου αντίστοιχα	<b>347</b>
<b>8.208</b>	Χωρική κατανομή του 2 <sup>ου</sup> παράγοντα της υγρής περιόδου αντίστοιχα	<b>347</b>
<b>8.209</b>	Χωρική κατανομή του 3 <sup>ου</sup> παράγοντα της υγρής περιόδου.	<b>347</b>
<b>8.210</b>	Χωρική κατανομή του 4 <sup>ου</sup> παράγοντα της υγρής περιόδου.	<b>347</b>
<b>9.1</b>	Οι προβλέψεις αύξησης της θερμοκρασίας έως το έτος 2100 αποτυπωμένες στον παγκόσμιο χάρτη βάσει 3 σεναρίων (χαμηλής αύξησης, μέσης αύξησης και υψηλής αύξησης), IPCC 2007	<b>351</b>
<b>9.2</b>	Οι προβλέψεις αύξησης της θερμοκρασίας έως το έτος 2100 βάσει 4 σεναρίων (χαμηλής αύξησης, μέσης αύξησης, υψηλής αύξησης και σταθεροποίησης των εκλύσεων CO <sub>2</sub> ), IPCC 2007.	<b>352</b>
<b>9.3</b>	Οι προβλέψεις αύξησης ή μείωσης της απορροής αποτυπωμένες στον παγκόσμιο χάρτη έως το έτος 2050 (Arnell, 1999).	<b>353</b>
<b>9.4</b>	Οι προβλέψεις στρεσογόνων περιοχών όσον αφορά την επάρκεια νερού για τα έτη 2025 και 2085, βασισμένο στη χειρότερη υπόθεση (Arnell, 1999).	<b>353</b>
<b>9.5</b>	Οι προβλέψεις αύξησης της στάθμης της θάλασσας έως το έτος 2100 (IPCC, 2007)	<b>354</b>
<b>9.6</b>	Οι προβλέψεις ανόδου της στάθμης της θάλασσας στην ακτογραμμή Ραφήνα-Βραυρώνα σύμφωνα με τα παγκόσμια σεναρία κλιματικών αλλαγών (IPCC, 2007)	<b>356</b>
<b>9.7</b>	Εκτάσεις καμένων δασών κατά τα έτη 1983-2005 στην Αττική (Τσαγκάρη κ.α., 2010)	<b>357</b>
<b>9.8</b>	Αριθμός περιστατικών εκδήλωσης πυρκαγιών κατά τα έτη 1983-2005 στην Αττική (Τσαγκάρη κ.α., 2010)	<b>358</b>
<b>9.9</b>	Χάρτης επικινδυνότητας εκδήλωσης πυρκαγιάς στην περιοχή έρευνας	<b>359</b>
<b>9.10</b>	Χάρτης επικινδυνότητας εμφάνισης πλημμύρας στην περιοχή έρευνας	<b>360</b>
	Φωτογραφίες από το σημείο δειγματοληψίας επιφανειακού νερού Ερ.1	<b>405</b>
	Φωτογραφίες από το σημείο δειγματοληψίας επιφανειακού νερού Ερ.2	<b>406</b>
	Φωτογραφίες από το σημείο δειγματοληψίας επιφανειακού νερού Ερ.3	<b>406</b>
	Φωτογραφίες από το σημείο δειγματοληψίας επιφανειακού νερού Ραφ.1	<b>406</b>
	Φωτογραφίες από αγωγούς εισροής υδάτων στο σημείο δειγματοληψίας επιφανειακού νερού Ραφ.1	<b>407</b>
	Φωτογραφίες από το σημείο δειγματοληψίας επιφανειακού νερού Ραφ.2	<b>407</b>
	Φωτογραφίες από το σημείο δειγματοληψίας επιφανειακού νερού Ραφ.3	<b>407</b>
	Φωτογραφίες από το σημείο δειγματοληψίας επιφανειακού νερού Ραφ.4	<b>408</b>
	Φωτογραφίες από το σημείο δειγματοληψίας επιφανειακού νερού Ραφ.5	<b>408</b>



## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα έρευνα πραγματοποιήθηκε στο Γενικό Τμήμα του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών με τίτλο «Φυσικές και ανθρωπογενείς επιπτώσεις στην ποιότητα των νερών και εδαφών της Ανατολικής Αττικής». Η έρευνα χρηματοδοτήθηκε από το Ίδρυμα Κρατικών Υποτροφιών στην ειδίκευση «Προστασία Υδατικών Πόρων» του προγράμματος 2005-2006. Οι χημικές αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν στο Εργαστήριο Ορυκτολογίας-Γεωλογίας του Γενικού Τμήματος καθώς και στο Εργαστήριο Εδαφολογίας του Τμήματος Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων & Γεωργικής Μηχανικής του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών υπό την καθοδήγηση του Καθηγητή Γ. Σταμάτη.

Από την θέση αυτή θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά όλους όσους συνετέλεσαν στην πραγματοποίηση αυτής της έρευνας ξεκινώντας απ' τον επιβλέποντα Καθηγητή κ. Γεώργιο Σταμάτη για την ευκαιρία εκπόνησης της παρούσας διατριβής και για την ανεκτίμητη βοήθειά του στην πραγματοποίηση των δειγματοληψιών, των χημικών αναλύσεων και τη συγγραφή. Οι συμβουλές του κι οι υποδείξεις του αποτέλεσαν σημαντικό οδηγό στην πραγματοποίηση της διατριβής.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Επίκουρο Καθηγητή κ. Κώστα Σερέλη για τη συνεργασία μας, τις συμβουλές και τις εύστοχες υποδείξεις του. Ευχαριστώ τον Καθηγητή κ. Γεώργιο Μιγκίρο για την συμβολή του στην πραγματοποίηση της παρούσας έρευνας και στην αποκόμιση γνώσης κι εμπειρίας. Ευχαριστώ την Καθηγήτρια Κωνσταντίνα Χαϊντούτη για τις πολύτιμες συμβουλές της τόσο στο στάδιο των εδαφικών αναλύσεων όσο και στο στάδιο της συγγραφής της εργασίας.

Ευχαριστώ τα μέλη ΔΕΠ του Εργαστηρίου Ορυκτολογίας, κ.κ. Α. Παυλόπουλο, Ε. Γκάρτζο και Α. Τσαγκαλίδη για την ηθική υποστήριξη, την κατανόηση και την παροχή βοήθειας κατά την εκπόνηση της διατριβής.

Ευχαριστώ τον υποψήφιο Διδάκτωρ Κώστα Παρπόδη για την παροχή πολύτιμης βοήθειας στην πραγματοποίηση των δειγματοληψιών και την κοινή αντιμετώπιση των προβλημάτων. Ευχαριστώ τον Δρ. Κώστα Διαμαντή για τη βοήθειά του στην πραγματοποίηση των δειγματοληψιών καθώς και τον Δρ. Μανώλη Ψωμιάδη για την πρόθυμη βοήθειά του σε θέματα Γεωγραφικών Πληροφοριακών Συστημάτων. Ευχαριστώ την υποψήφια Διδάκτωρ Δήμητρα Γαμβρουλά για την βοήθειά της σε θέματα στατιστικής ανάλυσης των εδαφοχημικών και υδροχημικών αποτελεσμάτων.

Εκφράζω τις θερμές μου ευχαριστίες στο σύζυγό μου, τους γονείς μου και τον αδερφό μου που αφιέρωσαν μέρος του ελεύθερου χρόνου τους για να με βοηθήσουν στην πραγματοποίηση των δειγματοληψιών. Ευχαριστώ τον συνάδελφο και φίλο Δρ. Νίκο Προύτσο, για την αμέριστη βοήθειά του σε ειδικά θέματα περιβαλλοντικού περιεχομένου.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω όλα τα μέλη της οικογένειάς μου, που μου παρείχαν πολύτιμη στήριξη, κατανόηση και βοήθεια για την εύρεση χρόνου για τη συγγραφή της παρούσας διδακτορικής διατριβής.

# 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

## 1.1 Σκοπός της έρευνας

Η ευρύτερη περιοχή των Μεσογείων διατήρησε διαχρονικά σε μεγάλο βαθμό το χαρακτήρα της ως τόπος γεωργικής δραστηριότητας, που συνοδεύτηκε από σχετικά ήπιους ρυθμούς μεταβολών του παραγόμενου προϊόντος και γενικά αραιή δόμηση. Μετά την αποπεράτωση των μεγάλων έργων, όπως ο Διεθνής Αερολιμένας Αθηνών «Ελ. Βενιζέλος», η «Αττική Οδός» κλπ, η περιοχή αποτέλεσε πόλο έλξης για χιλιάδες κατοίκους κι εργαζόμενους. Η δημιουργία των μεγάλων έργων σε συνδυασμό με την πληθυσμιακή έκρηξη θεωρούνται σημαντικός παράγοντας περιβαλλοντικής υποβάθμισης της περιοχής. Ο σχεδιασμός των μεγάλων έργων δεν συνοδεύτηκε με περιβαλλοντική μέριμνα (σχεδιασμός αποχετευτικού δικτύου, εκτροπή νεοδημιουργηθέντων ρεμάτων προς τα κεντρικά υδρορέματα κλπ).

Η αυθαίρετη και απότομη μεταβολή μεγάλων τμημάτων φυσικών υπαίθριων εκτάσεων και γεωργικής γης σε αστικούς σχηματισμούς, αποτελεί μια ακόμη άμεση απειλή για τη βιοποικιλότητα του αττικού τοπίου, αλλά και προμηνύει μακροπρόθεσμα, δυσάρεστες μικροκλιματικές μεταβολές. Η σταδιακή αντικατάσταση μεγάλων εκτάσεων φυσικού εδάφους, με υλικά όπως το μπετόν και η ασφάλτος, η εντατική ανάπτυξη νέων χρήσεων γης, αλλά κι οι διάφορες μορφές όχλησης που προκαλούνται απ' τη λειτουργία του αεροδρομίου, αναμένεται να δημιουργήσουν δυσμενείς περιβαλλοντικές επιπτώσεις στην περιοχή και νέα φαινόμενα κλιματικής δυσφορίας, κυρίως κατά την περίοδο του θέρους.

Άμεσο επακόλουθο είναι η αύξηση της ζήτησης νερού που έρχεται σε πλήρη αντιδιαστολή με την υποβάθμιση της ποιότητας των υδατικών πόρων, που προκαλείται απ' τις ανθρώπινες δραστηριότητες. Η περιοχή των Μεσογείων, λόγω του ξηροθερμικού κλίματος, έχει αντιμετωπίσει στο παρελθόν καταστάσεις ανεπάρκειας νερού και το πρόβλημα προβλέπεται να ενταθεί με την αύξηση της ζήτησης.

Γενικά στο χώρο της Α/κής Αττικής έχουν πραγματοποιηθεί στο παρελθόν υδρογεωλογικές έρευνες που αποσκοπούσαν στην διερεύνηση του υπόγειου υδατικού δυναμικού και τις δυνατότητες εκμετάλλευσης αυτού, καθότι στην περιοχή από τη δεκαετία του '70 άρχισε η εγκατάσταση μικρών βιοτεχνιών, η οικιστική δραστηριοποίηση και ιδιαίτερα ο σχεδιασμός της κατασκευής του νέου αεροδρομίου Αθηνών. Η αναζήτηση νέων αποθεμάτων νερού υπήρξε αναπόφευκτη (Mariolakos et al. 1974, Kounis 1979, 1998, Alexakis & Kelepertsis 1998, Αλεξάκης 2002). Νεότερες υδρογεωχημικές έρευνες πραγματοποιήθηκαν απ' τους Champidi et al., (2011a), Champidi et al., (2011b), Bathrellos et al., (2008), Stamatis et al., (2006) και Χαμπίδη, (2005) όπου προκύπτουν σημαντικά αποτελέσματα του ποιοτικού χαρακτήρα των νερών της λεκάνης Μεσογείων.

Από τις προηγηθείσες έρευνες διαπιστώνεται η ύπαρξη της υψηλής αλατότητας του φρεάτιου υδροφορέα, την οποία οι συγγραφείς συνδέουν αφενός μεν με το γεωλογικό περιβάλλον κι αφετέρου με τις ανθρώπινες δραστηριότητες και ιδιαίτερα την θαλάσσια διείσδυση εξαιτίας της εντατικής εκμετάλλευσης των βαθιών γεωτρήσεων.

Οι ανθρωπογενείς πιέσεις που ασκούνται στον υδροφορέα της περιοχής, έχουν επηρεάσει και τις ακτές, όπου γίνεται η φυσική εκφόρτιση των επιφανειακών και υπόγειων υδροφόρων οριζόντων. Ιδιαίτερη επιβάρυνση παρατηρείται στους κλειστούς όρμους της Ραφήνας, της Άρτεμης και της Βραυρώνας, όπου καταλήγουν τα επιφανειακά υδρορέματα, τα οποία μεταφέρουν σημαντικό φορτίο θρεπτικών στοιχείων, με αποτέλεσμα την εκδήλωση ευτροφικών φαινομένων (Stamatis et al. 2006, Champidi et al. 2011a).

Ο σκοπός της έρευνας είναι η έρευνα της ποιοτικής σύστασης των υπόγειων κι επιφανειακών νερών και των εδαφών που αναπτύσσονται στη λεκάνη των Μεσογείων, η διερεύνηση των διαφόρων μεταβολών που έχουν προκύψει στα νερά και στα εδάφη μέσω των φυσικών διεργασιών και των επιφανειακών επιδράσεων από ανθρώπινες δραστηριότητες, η εκτίμηση του υδρολογικού ισοζυγίου στις δύο λεκάνες απορροής, Μεγάλου Ρέματος και Ερασίνου και η εξέταση της καταλληλότητας των νερών για διάφορες χρήσεις. Μετά την επισταμένη αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της παρούσας έρευνας, διερευνήθηκε η περιβαλλοντική εξέλιξη της περιοχής, σε συνδυασμό με τα παγκόσμια σενάρια κλιματικών αλλαγών. Η έρευνα καλύπτει πολλαπλούς τομείς έρευνας ξεκινώντας με τη δημογραφική εξέλιξη της περιοχής, τις χρήσεις γης, τις κλιματικές συνθήκες, τη γεωμορφολογική εξέλιξη, τη γεωλογική δομή, τις υδρολογικές και υδρογεωλογικές συνθήκες της περιοχής που άμεσα ή έμμεσα συμβάλλουν στη διαφοροποίηση της ποιότητας των υδατικών (επιφανειακών και υπόγειων) και των εδαφικών πόρων.

Στα πλαίσια της έρευνας ελήφθησαν 86 δείγματα υπόγειων υδάτων, κυρίως απ' τον φρεάτιο υδροφόρο ορίζοντα, ο οποίος αποτελεί τον άμεσο αποδέκτη οποιαδήποτε επιφανειακής επιβάρυνσης και 8 δείγματα επιφανειακών υδάτων. Στις επιτόπιες μετρήσεις εξετάστηκαν οι φυσικοχημικές παράμετροι: θερμοκρασία T, ηλεκτρική αγωγιμότητα EC, pH και το διαλυμένο οξυγόνο. Στο εργαστήριο προσδιορίστηκαν: η ολική, η ανθρακική και μόνιμη σκληρότητα των νερών, τα κύρια στοιχεία  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ , το  $\text{SiO}_2$ , τα αλογόνα  $\text{Br}^-$ ,  $\text{I}^-$  και  $\text{F}^-$  και τα βαρέα μεταλλικά ιχνοστοιχεία Cu, Pb, Fe, Cd, Ni, Zn, Mn, Cr, Sr και Co. Στα επιφανειακά ύδατα μετρήθηκαν επιπλέον οι ανθρωπογενούς προέλευσης ουσίες, όπως οι φαινόλες, τα κυανίδια και οι υδραζίνες.

Παράλληλα ελήφθησαν 42 δείγματα εδαφών αντιπροσωπευτικά της περιοχής στα οποία εξετάστηκαν εργαστηριακά οι φυσικοχημικές παράμετροι pH, EC, κοκκομετρική σύσταση, I.A.K., ποσοστό οργανικής ουσίας, ποσοστό ισοδύναμου  $\text{CaCO}_3$ , τα ανταλλάξιμα στοιχεία Ca, K, Na και Mg, ο P, το ποσοστό N καθώς και τα βαρέα μέταλλα Cu, Pb, Fe, Cd, Ni, Zn, Mn, Cr και Co. Για τον εντοπισμό των διαφόρων φάσεων που απαντώνται τα βαρέα μέταλλα στα εδάφη, εφαρμόστηκαν διάφορες μέθοδοι εκχυλίσεων για τον προσδιορισμό των συγκεντρώσεων των υδατοδιαλυτών, των ανταλλάξιμων, των δεσμευμένων στα οξείδια Fe & Mn και τα οργανικά κι ανθρακικά κλάσματα και τέλος των ολικών συγκεντρώσεων βαρέων μετάλλων.

Πέρα από τις ανωτέρω μετρήσεις κι αναλύσεις, στις εκβολές των δύο κυρίων ρεμάτων της περιοχής έρευνας (Ερασίνο Βραυρώνας και Μεγάλο Ρέμα Ραφίνας) γινόταν μία φορά την εβδομάδα μέτρηση της παροχής με μυλίσκο. Η διαδικασία έλαβε χώρα από τον Οκτώβριο του 2005 έως και τον Νοέμβριο του 2006. Τα δεδομένα αυτά, σε συνδυασμό με τα κλιματολογικά δεδομένα από 14 όμορους μετεωρολογικούς σταθμούς χρησιμοποιήθηκαν για την εκτίμηση του υδρολογικού ισοζυγίου των δυο λεκανών.

## 1.2 Το νερό στην φύση

Το νερό είναι απαραίτητο συστατικό στην ανθρώπινη διατροφή και κατέχει εξέχουσα θέση όχι μόνο στην ανθρώπινη υγεία αλλά και στην κοινωνική, πολιτιστική κι οικονομική ανάπτυξη και τη διατήρηση του περιβάλλοντος. Τόσο η ποσότητα, όσο κι η ποιότητα του νερού παίζουν καθοριστικό ρόλο στην επιβίωση διαφόρων οργανισμών της τροφικής αλυσίδας αλλά και στις διάφορες ανθρώπινες δραστηριότητες.

Το νερό βρίσκεται σε αφθονία στον πλανήτη μας, καλύπτοντας το 75% της επιφάνειας της γης που αντιστοιχεί σε όγκο 1,3 δισεκατομμυρίων κυβικών

χιλιομέτρων. Το μεγαλύτερο ποσοστό (97%) κατανέμεται στις θάλασσες και τους ωκεανούς και το υπόλοιπο 3% είναι γλυκό νερό που βρίσκεται κυρίως στους παγετώνες και τους πάγους των πόλων (Καλλέργης 2000, Σούλιος 2004).

Ο υδρολογικός κύκλος αφορά τη μεταφορά του νερού απ' την θάλασσα στη γη και πίσω στην θάλασσα. Τα 2/3 του νερού που πέφτει στη γη με τη μορφή των κατακρημνισμάτων επιστρέφουν στην ατμόσφαιρα μέσω της εξάτμισης και της εξατμισοδιαπνοής. Το υπόλοιπο 1/3 είτε απορρέει επιφανειακά είτε διηθείται στο έδαφος απολήγοντας είτε στην θάλασσα (ενδορροή) είτε στους υπόγειους υδροφόρους (βασική απορροή). Μέρος της επιφανειακής κι υπόγειας απορροής επιστρέφει στην θάλασσα για να συνεχιστεί ο υδρολογικός κύκλος (Τερζίδης-Παπαζαφειρίου 1997). Περίπου 10% της ετήσιας επιφανειακής απορροής χρησιμοποιείται για ανθρώπινες δραστηριότητες.

Η γεωγραφική κατανομή του νερού στον πλανήτη δεν συμβαδίζει με την αντίστοιχη κατανομή του πληθυσμού. Οι αυξανόμενες απαιτήσεις σε νερό κι η σταδιακή υποβάθμιση της ποιότητάς του, καθιστά το νερό ολοένα και πιο πολύτιμο αγαθό, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται προβλήματα και διαπληκτισμοί, ιδιαίτερα σε χώρες που μοιράζονται διασυνοριακές λεκάνες.

### 1.3 Το υπόγειο και το επιφανειακό νερό

Υπόγειο νερό καλείται το νερό, το οποίο υπάρχει μέσα στα πάσης φύσεως διάκενα των πετρωμάτων και μπορεί να προέρχεται από α) τη συμπύκνωση των υδρατμών της ατμόσφαιρας, β) τη συμπύκνωση των υδρατμών του μάγματος (φυσικό τήγμα στο εσωτερικό της γης αποτελούμενο από μοριακές συγκεντρώσεις, μεταλλικά συστατικά, υδρατμούς κι άλλα αέρια) και γ) τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα (Δάβη 1990).

Η αδιάπτωτη τάση επιβάρυνσης των επιφανειακών νερών από ανθρωπογενείς παράγοντες όπως αστικοποίηση, βιομηχανοποίηση κι έντονη γεωργική εκμετάλλευση οδηγούν σταδιακά στον περιορισμό της εκμετάλλευσής τους, με αποτέλεσμα το υπόγειο νερό να αποκτά τη μοναδικότητα για την κάλυψη των μελλοντικών αναγκών. Το γεγονός αυτό καθιστά αναπόφευκτα την λήψη μέτρων προστασίας των υπόγειων υδάτων.

Η χημική σύσταση του υπόγειου κι επιφανειακού νερού εξαρτάται άμεσα από:

1. τη χημική σύσταση του νερού κατείδυσης (μετεωρικό νερό, επιφανειακό νερό των ποταμών, των λιμνών και των θαλασσών),
2. τις φυσικοχημικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στο υπέδαφος κατά την κίνηση του νερού στους διάφορους γεωλογικούς σχηματισμούς, όπως διάλυση και διάβρωση των πετρωμάτων, υδρόλυση, απόθεση αλάτων, δημιουργία νέων ορυκτών, οξειδοαναγωγικά φαινόμενα κλπ.
3. τις διάφορες γεωλογικές διεργασίες που μεταβάλλουν τοπικά τις υδρογεωλογικές συνθήκες μιας περιοχής, όπως η σεισμικότητα, η ηφαιστειότητα, οι κατολισθήσεις κλπ και
4. τις διάφορες ανθρωπογενείς επιδράσεις.

Το φυσικό υπόγειο κι επιφανειακό νερό περιέχει τα ακόλουθα κύρια στοιχεία:  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  και  $\text{NO}_3^-$ . Οι συγκεντρώσεις τους στο νερό κυμαίνονται από λίγα mg/l έως δεκάδες mg/l και προσδιορίζουν τον υδροχημικό του χαρακτήρα. Εκτός των κυρίων στοιχείων, υπάρχουν επίσης χημικά στοιχεία και χημικές ενώσεις σε μικρές συγκεντρώσεις πολύ μικρότερες του 1 mg/l που χαρακτηρίζονται ως ιχνοστοιχεία και ιχνοενώσεις. Αυτά διακρίνονται σε δύο κατηγορίες:

α) τα ανόργανα ιχνοστοιχεία και ιχνοενώσεις, στα οποία ανήκουν βαρέα μέταλλα όπως Fe, Mn, Cu, Ni, Cr, Cd, Zn, Sn, Co, As, Ag, Hg, Pb, Se κλπ, καθώς κι αμέταλλα ιχνοστοιχεία όπως F<sup>-</sup>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, CN<sup>-</sup>, κλπ.

β) τις οργανικές ιχνοενώσεις στις οποίες ανήκει ένα πλήθος οργανικών ενώσεων, που προέρχονται κυρίως από ανθρωπογενείς δραστηριότητες, όπως είναι οι πολυκυκλικοί υδρογονάνθρακες (PAH), οι διοξίνες, τα πολυχλωριωμένα διφαινύλια (PCBs), οι φαινόλες, τα χλωροβενζόλια, τα παράγωγα του πετρελαίου (MTBE, BTEX κλπ), τ' απορρυπαντικά κλπ.

Ορισμένα απ' τα μακροστοιχεία και ιχνοστοιχεία που βρίσκονται στα υπόγεια φυσικά νερά είναι ωφέλιμα για τον ανθρώπινο οργανισμό. Τα στοιχεία Ca, Mg, P και F αποτελούν τα κύρια δομικά στοιχεία των οστών και των δοντιών. Τα στοιχεία K, Na και Cl χρησιμοποιούνται ως ηλεκτρολύτες και αποτελούν συστατικά των υγρών του σώματος. Ο Fe είναι ο μεταφορέας του οξυγόνου. Τα ιχνοστοιχεία Fe, Mn, Zn, Cu, Mo, I, Cr, Se, Ni, Sn, Si είναι συστατικά των ενζύμων και ορμονών και εμπλέκονται στο μεταβολισμό του ήπατος, στο ρυθμό ανάπτυξης, στην αύξηση και ασβεστοποίηση των οστών (Alloway, 1995).

#### 1.4 Το έδαφος

Το έδαφος είναι το προϊόν αποσάθρωσης του μητρικού πετρώματος υπό την επίδραση βιολογικών και κλιματικών παραγόντων. Ένα έδαφος μπορεί να είναι αυτόχθονο, όταν τα προϊόντα αποσάθρωσης προέρχονται απ' το υποκείμενο μητρικό πέτρωμα ή αλλόχθονο όταν τα προϊόντα αποσάθρωσης μεταφέρθηκαν από άλλο σημείο με τη βοήθεια του νερού, του ανέμου ή της βαρύτητας.

Αποτελεί πολύπλοκο δυναμικό σύστημα στο οποίο συμβαίνουν φυσικές, χημικές και βιολογικές διεργασίες. Στη γεωργία έχει τεράστια σημασία, καθότι όχι μόνο αποτελεί μέσο στήριξης των φυτών αλλά και αποθήκη θρεπτικών στοιχείων που μέσω του εδαφικού νερού παροχετεύονται απ' τις ρίζες στα φυτά (Δάβη 1990).

Οι συγκεντρώσεις των στοιχείων στα εδάφη είναι σημαντικές για τη διατήρηση της ποιότητας του περιβάλλοντος και του ισοζυγίου των θρεπτικών στοιχείων του εδάφους κι εξαρτώνται από τη γεωχημική φύση του μητρικού πετρώματος απ' το οποίο προέκυψε το έδαφος, τις πεδογενετικές διεργασίες, το βαθμό εξέλιξης του εδάφους και τις ατμοσφαιρικές αποθέσεις. Επιπλέον εξαρτώνται από εξωγενείς παράγοντες, όπως οι χρήσεις γης, η βλάστηση κι σημειακές ή μη πηγές ρύπανσης (Martinez Cortizas et al. 2003, Zhang et al. 2002).

Οι φυσικοχημικές ιδιότητες ενός εδάφους μας δίνουν ιδιαίτερες πληροφορίες για τη σύσταση αυτού, τη γονιμότητα και παραγωγικότητά του κλπ. Αυτές είναι:

##### ♦ Το χρώμα

Απ' την εποχή του Ομήρου γνώριζαν πως το χρώμα του εδάφους παίζει σημαντικό ρόλο στη γονιμότητα. Στις μέρες μας οι εδαφολόγοι έχουν ερμηνεύσει το χρώμα του εδάφους με την περιεκτικότητα αυτού σε ενώσεις και στοιχεία:

- Στις οργανικές ύλες αποδίδεται το μελανό, το ορφνό και το φαιό.
- Στις ανόργανες ενώσεις (οξειδία, υποοξειδία, επιτεταρτοοξειδία του σιδήρου κ.λπ.) αποδίδεται το ερυθρό, το πορτοκαλί, το κίτρινο, το ορφνό, το κυανό και το πράσινο.
- Στο ασβέστιο αποδίδεται το λευκό και το κιτρινόλευκο.
- Στο μαγγάνιο αποδίδεται το μελανό και το ορφνό.
- Οι ενώσεις υποοξειδίου του σιδήρου και των ανθρακικών έχουν χρώμα ερυθρό.
- Τα εδάφη των ημερημικών περιοχών έχουν χρώμα φαιό.
- Κυανό και πράσινο χρώμα έχουν τα με πληθωρική υγρασία υπεδάφη, στα οποία λαμβάνουν χώρα αναερόβιες βιολογικές αντιδράσεις (Sposito 1989).

Το χρώμα των εδαφών επηρεάζει και τη θερμική τους κατάσταση. Εδάφη σκοτεινού χρώματος θερμαίνονται ταχύτερα και περισσότερο από τα εδάφη ανοικτού χρώματος υπό τις ίδιες συνθήκες.

♦ **Η θερμοκρασία**

Η θερμοκρασία εκφράζει την ποσότητα των θερμίδων που πρέπει ν' απορροφηθούν από ένα κυβικό εκατοστό νερού για να αυξηθεί η θερμοκρασία του κατά ένα βαθμό (ειδική θερμότητα). Εξαρτάται από τις κλιματολογικές συνθήκες, την ένταση της εξατμισοδιαπνοής, την περιεκτικότητα της ατμόσφαιρας σε υδατμούς, την θερμοκρασία των νερών άρδευσης και τις βιοχημικές και χημικές αντιδράσεις (Sposito 1989).

♦ **Το pH- ή οξύτητα**

Το pH, όπως και στα νερά, εκφράζει τη συγκέντρωση των υδρογονοϊόντων που προκύπτουν με την υδρόλυση των υδατοδιαλυτών αλάτων και χημικών ενώσεων στο νερό και σ' άλλα διαλυτικά υγρά. Το pH έχει μεγάλη σπουδαιότητα διότι καθορίζει τις διεργασίες εδαφογένεσης, την απορρόφηση των θρεπτικών στοιχείων και ιχνοστοιχείων, την ανάπτυξη και απόδοση των διαφόρων φυτικών καλλιεργειών και τη δράση των μικροοργανισμών. Το χαμηλό pH ευνοεί την απελευθέρωση θρεπτικών ιόντων όπως Ca, Mg, K, Mn, Cu από την αποσάθρωση ορυκτών και τη διαλυτότητα των αλάτων  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$  (Μουστάκας 1997).

**Πίνακας 1.1:** Όρια τιμών pH για την ανάπτυξη των κυριότερων καλλιεργειών (Sposito 1989)

φυτό	τιμές pH		
	κατώτερες	ευνοϊκές	ανώτερες
σιτάρι	4,00	6,5 - 7,5	8,50
σίκαλη	4,00	5 - 6	8,00
κριθάρι	4,00	7 - 7,5	8,50
βρώμη	3,50	5 - 7	8,00
τριφύλλι	4,00	5,8 - 7	8,00
ψυχανθή	3,50	5,5 - 7,6	8,00
μηδική	5,00	7,2 - 8	8,50
πατάτες	3,50	4,8 - 6	8,00
κτην. τεύτλα	4,00	5,8 - 7,5	8,50
σακχαρότευτλα	3,50	7 - 7,5	8,00
ελαιώδη φυτά	3,50	6,5 - 8	8,50
βαμβάκι	4,50	6,5 - 8	8,50
καλαμπόκι	4,00	6,5 - 8,2	8,50
οξιά	3,60	4,6 - 8,2	8,50
βελανιδιά		4,5 - 7,5	8,50
άγρια πεύκη	2,80		8,50
οπωροφόρα		6,4 - 8	
ελιά		7 - 8	
αμπέλι		6 - 6,5	

**Πίνακας 1.2:** Χαρακτηρισμός εδαφών ανάλογα το pH (Sposito 1989)

χαρακτηρισμός εδαφών	pH διηθήματος
ασθενή αλκαλικά	7,1 - 7,3
μέτρια αλκαλικά	7,3 - 7,6
αλκαλικά	7,6 - 8,2
πολύ αλκαλικά	8,2 - 8,6
υπεραλκαλικά	> 8,6

Η οξύτητα είναι αποτέλεσμα των εδαφογενετικών διεργασιών του κλίματος και του μητρικού υλικού. Τα όξινα εδάφη παρατηρούνται κυρίως στα βουνά λόγω περισσότερων βροχοπτώσεων. Οι πηγές οξύτητας των εδαφών είναι η οργανική ουσία, τα αργιλλοπυριτικά ορυκτά, τα λιπάσματα, η όξινη βροχή, το θείο, το CO<sub>2</sub> κι η απορρόφηση θρεπτικών στοιχείων από τα καλλιεργούμενα φυτά (Μουστάκας 1997).

Οι συνήθεις τιμές pH που παρατηρούνται στα εδάφη είναι από 4 έως 8,5 με τις χαμηλές τιμές να οφείλονται στην άργιλο ενώ οι υψηλότερες αποδίδονται στο CaCO<sub>3</sub> (Alloway 1995). Σε ξηρές περιοχές, οι τιμές κυμαίνονται από 7 έως 9 ενώ στις πιο υγρές από 5 έως 7 (Brady 1984). Το ιδανικό pH για τις περισσότερες καλλιέργειες είναι γύρω στο 6,5. Στον πίνακα 1.1 φαίνονται τα όρια τιμών pH για την ανάπτυξη των κυριότερων καλλιεργειών και στον πίνακα 1.2 ο χαρακτηρισμός των εδαφών ανάλογα με το pH του διηθήματος.

#### ♦ Η ηλεκτρική αγωγιμότητα EC

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα εκφράζει το σύνολο των διαλυτών αλάτων στο έδαφος και εκφράζεται όπως και στα νερά σε μhos/cm στους 25°C.

Έχει γίνει αποδεκτός ο συντελεστής 0,7 ο οποίος εκφράζει με μεγάλη προσέγγιση τις συγκεντρώσεις ολικών αλάτων στο εδαφικό νερό, δηλαδή ΟΛΙΚΑ ΑΛΑΤΑ=0,7xEC (Sposito 1989).

#### ♦ Η ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων (ΙΑΚ)

Ορίζεται ως η ποσότητα των προσροφημένων κατιόντων στη στερεά φάση του εδάφους και μετράται σε χιλιοστοδύναμα κατιόντων ανά 100 γραμμάρια εδάφους.

Η ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων εκφράζει το φορτίο των κολλοειδών του εδάφους που εξουδετερώνεται από προσρόφηση κατιόντων, τα οποία μπορεί να ανταλλάσσονται με κατιόντα του εδαφοδιαλύματος σε ορισμένη τιμή pH. Ουσιαστικά εκφράζει το φορτίο των ανταλλάξιμων κατιόντων που μπορεί να συγκρατήσει ένα έδαφος.

Η Ι.Α.Κ. ενός εδάφους είναι συνάρτηση:

- της μηχανικής σύστασης (όσο μεγαλύτερη η περιεκτικότητα των εδαφών σε άργιλο τόσο μεγαλύτερη η ΙΑΚ)
- της ορυκτολογικής σύστασης (τα 2:1 ορυκτά έχουν μεγαλύτερη ΙΑΚ)
- του pH (όσο μεγαλύτερο το pH τόσο μεγαλύτερη η ΙΑΚ)
- της περιεκτικότητας του εδάφους σε οργανική ουσία (όσο μεγαλύτερο το ποσοστό οργανικής ουσίας τόσο μεγαλύτερη η ΙΑΚ) (Γιάσογλου 1992, Μουστάκας 1997, Μήτσιος 2001).

Η Ι.Α.Κ. έχει σπουδαία σημασία στη θρέψη των φυτών καθόσον τ'ανταλλάξιμα ιόντα είναι αυτά που μπορούν να απορροφήσουν τα φυτά. Στα ορυκτά εδάφη η ΙΑΚ είναι χαμηλή φθάνοντας το μέγιστο τα 60 χιλιοστοδύναμα/100γρ. εδάφους ενώ στα οργανικά υπερβαίνει τα 200χιλ/μα ανά 100 γρ. εδάφους (Γιάσογλου 1992). Η ΙΑΚ των εδαφών είναι μακράν μεγαλύτερη της ικανότητας ανταλλαγής ανιόντων λόγω του μεγάλου αρνητικού φορτίου στην επιφάνεια των κολλοειδών (Alloway 1995).

#### ♦ Η οργανική ουσία

Η οργανική ουσία είναι το αποτέλεσμα χημικών και βιολογικών δραστηριοτήτων επί των διαφόρων υπολειμμάτων φυτικής ή ζωικής προέλευσης και περιλαμβάνει:

- ζωντανούς και νεκρούς μικροοργανισμούς του εδάφους
- φυτικά και ζωικά υπολείμματα σε διάφορα στάδια και βαθμό αποσύνθεσης και
- νεοσχηματισθείσες ενώσεις, αποτέλεσμα χημικής και βιολογικής δραστηριότητας των μικροοργανισμών του εδάφους.

Η οργανική ουσία:

- αποτελεί πηγή αζώτου (90-95% σε μη λιπασμένα εδάφη)
- αποτελεί πηγή φωσφόρου
- αυξάνει τη συνεκτικότητα των αμμωδών εδαφών
- βελτιώνει το πορώδες
- προάγει τη δημιουργία σταθερών συσσωματωμάτων
- αυξάνει την ικανότητα συγκράτησης υγρασίας
- αυξάνει την ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων
- προστατεύει την έκπλυση θρεπτικών στοιχείων (όπως τα N, P, S)
- τροφοδοτεί τα φυτά με θρεπτικά στοιχεία
- κατά τη διάσπασή της συμβάλλει στη χημική αποσάθρωση των ορυκτών καθόσον εκλύονται όξινα συστατικά και CO<sub>2</sub>
- αποτελεί πηγή ενέργειας για τους μικροοργανισμούς
- αυξάνει την εδαφική θερμοκρασία
- αυξάνει τη διαθέσιμη υγρασία στα αμμώδη εδάφη
- αυξάνει την κίνηση του αέρα και του νερού στα λεπτόκοκκα εδάφη (Μήτσιος 2001).

Η περιεκτικότητα των εδαφών σε οργανική ουσία είναι συνάρτηση πολλών παραγόντων όπως:

- η κατεργασία του εδάφους (ευνοεί την οξείδωση κατ' επέκταση μειώνει την οργανική ουσία)
- η θερμοκρασία (υψηλές θερμοκρασίες ευνοούν το ρυθμό διάσπασης κι οξείδωσης της οργανικής ουσίας, συνεπώς συντελούν στη μείωσή της) και
- το pH ( σε υψηλό pH, δεν υπάρχουν όξινες αντιδράσεις, συνεπώς αυξάνεται η δραστηριότητα των μικροοργανισμών και μειώνεται η οργανική ουσία).

Η οργανική ουσία αποτελείται από οργανικές ενώσεις που κατά 10-20% ανήκουν σε γνωστές ομάδες και κατά 80-90% σε άλλες μεγάλου μοριακού βάρους που δεν εντάσσονται σε γνωστές ενώσεις κι αποτελούν το χούμο. Ο χούμος είναι ένα υλικό βαθύ φαιού χρώματος, προερχόμενο από την οργανική ουσία του εδάφους, άμορφο, χωρίς κυτταρική δομή και υψηλού μοριακού βάρους (Μήτσιος 2001).

Οι γνωστές ενώσεις (10-20%) σε πρώτη φάση αποτελούν τα αρχικά προϊόντα αποδόμησης της οργανικής ουσίας και περιλαμβάνουν υδατάνθρακες, λιπίδια, οργανικά οξέα, νουκλεοξέα, κυτταρίνες, ημικυτταρίνες, λιγνίνη, λίπη, κηρούς, ρητίνες και ταννίνες. Σε δεύτερη φάση, υφιστάμενα ξανά την αποσυνθετική δραστηριότητα των εδαφικών μικροοργανισμών, απελευθερώνουν ανόργανα συστατικά (ανοργανοποίηση ή ορυκτοποίηση) όπως N, S, Ca, Mg, K. Ο ρυθμός ανοργανοποίησης εξαρτάται από περιβαλλοντικές συνθήκες (θερμοκρασία, υγρασία, pH κλπ), το ποσό και το είδος της οργανικής ουσίας καθώς και το είδος των φυτών απ' τα οποία προέρχεται.

Ο χούμος (80-90% οργανικής ουσίας), αντίθετα με τις παραπάνω ενώσεις, δεν υπόκειται σε περαιτέρω αποδόμηση.

#### ♦ Ο λόγος C/N

Ο λόγος C/N αποτελεί δείκτη δραστηριότητας των μικροοργανισμών και δείκτη χουμοποίησης, δηλαδή δείχνει πόσο οργανική ουσία μπορεί να διατηρήσει το έδαφος. Με την πάροδο της χουμοποίησης ο δείκτης μικραίνει και όταν:

- C/N > 25: υπάρχει έλλειψη αζώτου, γι αυτό οι μικροοργανισμοί χρησιμοποιούν το εδαφικό άζωτο ανταγωνιστικά προς τα φυτά. Σταματά η ανοργανοποίηση.
- C/N < 25: υπάρχει αρκετό άζωτο για τους μικροοργανισμούς και υφίσταται ανοργανοποίηση (Μουστάκας 1997).



♦ **Ο βαθμός κορεσμού με βάσεις (BKB)**

Είναι το εκατοστιαίο ποσοστό των ανταλλάξιμων βασικών κατιόντων ή αλλιώς το ποσοστό της ΙΑΚ που είναι κορεσμένο με τις ανταλλάξιμες βάσεις  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $K^+$  και  $Na^+$ . Βρίσκεται από τον τύπο:

$$B.K.B. = \frac{\text{ανταλ.}K + \text{ανταλ.}Ca + \text{ανταλ.}Mg + \text{ανταλ.}Na}{IAK} \times 100$$

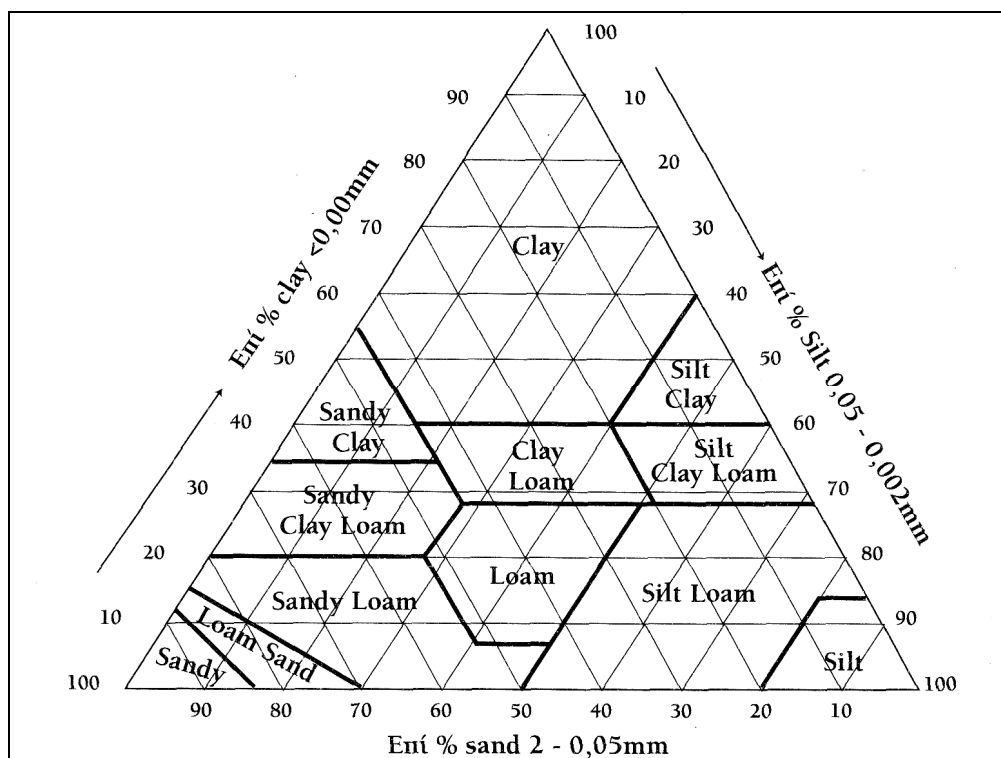
Συνδέεται άμεσα με το pH του εδαφικού συστήματος, με τιμές μικρότερες του 80% σε όξινο pH και μεγαλύτερες του 80% σε βασικό pH, και με τις υδροθερμικές συνθήκες του περιβάλλοντος, με τιμές στις υγρές περιοχές μικρότερες απ' αυτές των ξηρών περιοχών (Brady and Weil, 1996, Μουστάκας, 1997).

♦ **Η κοκκομετρική σύσταση**

Τα ανόργανα συστατικά του εδάφους κατατάσσονται σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με το μέγεθός τους. Αυτές είναι:

Άμμος με διάμετρο κόκκων	0,05-2mm
Ίλύς με διάμετρο κόκκων	0,002-0,05mm
Άργιλος με διάμετρο κόκκων	< 0,002mm

Η επί τοις εκατό αναλογία των παραπάνω συστατικών δίνει την υφή ή αλλιώς την κοκκομετρική σύσταση του εδάφους. Υπάρχουν διάφορες ταξινομήσεις εδαφών με βάση την κοκκομετρική σύσταση και φαίνονται στο ακόλουθο διάγραμμα (Σχ. 1.1):



Σχήμα 1.1: Ταξινόμηση των εδαφών στο τριγωνικό διάγραμμα κατά το US Department of Agricultural Bureau Industry Soils and Agricultural Engineering

Η ικανότητα συγκράτησης νερού και θρεπτικών συστατικών καθορίζεται απ' το μέγεθος των κόκκων και αυξάνεται όσο πιο λεπτόκοκκα είναι τα τεμαχίδια του εδάφους. Το πιο ενεργό μέρος των ανόργανων συστατικών του εδάφους αποτελεί η άργιλος. Αποτελείται κυρίως από ένυδρα πυριτικά άλατα ή από ένυδρα οξείδια του αργιλίου και του σιδήρου, που λόγω της αρνητικής τους φόρτισης επιτρέπουν την προσρόφηση στην επιφάνειά τους ξένων κατιόντων όπως Ca, K, Na κλπ και λόγω της τετραεδρικής τους δομής μπορούν ν' απορροφούν νερό (Δάβη 1990).

♦ **Η διαπερατότητα**

Καθορίζεται με το συντελεστή «K» Darcy που εκφράζει την ταχύτητα με την οποία κινείται το νερό στο έδαφος στη μονάδα του χρόνου και μετράται σε cm/sec.

Εδάφη με καλή διαπερατότητα έχουν συντελεστή μεταξύ  $10^2$  και 1, με αρκετά καλή από 1 έως  $10^{-3}$ , με κακή από  $10^{-4}$  έως  $10^{-6}$  ενώ τα παθογενή, αδιαπέρατα κι ακατάλληλα για καλλιέργειες εδάφη έχουν συντελεστή μικρότερο του  $10^{-6}$  (Sposito 1989).

♦ **Το πορώδες**

Εκφράζει την επί τοις εκατό (%) αναλογία του ελεύθερου χώρου κυκλοφορίας νερού και αέρα στα εδάφη. Εξαρτάται από τον όγκο, το σχήμα και τη διάταξη των εδαφικών συσσωματωμάτων. Το πορώδες στα αμμώδη εδάφη είναι 37-70%, στα πηλώδη κι αργιλώδη 47-65% ενώ στα τυρφώδη μπορεί να ξεπεράσει το 80% (Sposito 1989).

♦ **Η αεροϊκανότητα**

Είναι το ποσοστό του αέρα που μπορεί να κυκλοφορήσει στο διάκενο χώρο των συσσωματωμάτων του εδάφους όταν δεν είναι κορεσμένος με νερό. Η ιδιότητα αυτή συνεχώς μεταβάλλεται στα καλώς στραγγιζόμενα καλλιεργούμενα εδάφη (Sposito 1989).

♦ **Η ρευστότητα και πλαστικότητα**

Η ρευστότητα εκφράζει τη συνεχή εναλλαγή θέσεων και σχήματος εδαφικής πάστας υπό την επίδραση διαφόρων εξωτερικών δυνάμεων. Αν μετά την επίδραση των δυνάμεων η υδαρής μάζα επανέλθει στην αρχική κατάσταση έχουμε το ανώτατο όριο της πλαστικότητας ενώ στην αντίθετη περίπτωση το κατώτατο όριο (Sposito 1989).

### **1.5 Ποιοτική επιβάρυνση των υδατικών κι εδαφικών πόρων**

Οι διάφορες ανθρώπινες δραστηριότητες στην επιφάνεια της γης και την ατμόσφαιρα επηρεάζουν αρνητικά την ποιότητα του νερού, καθιστώντας το πολλές φορές ακατάλληλο όχι μόνο για πόση αλλά και για άλλες χρήσεις. Κάθε μορφή ρύπανσης και μόλυνσης, η οποία προκαλείται είτε στη επιφάνεια της γης είτε στην ατμόσφαιρα απολήγει στο έδαφος και κατόπιν σε κάποιον υδάτινο αποδέκτη (επιφανειακό ή υπόγειο). Η ρύπανση γίνεται εύκολα αντιληπτή κοντά στο σημείο όπου αυτή προκαλείται αλλά πολλές φορές παρουσιάζεται και πολύ μακρύτερα απ' την εστία της, λόγω φαινομένων μεταφοράς, διάχυσης, υδροδυναμικής διασποράς, αλλά και με τη βοήθεια του υδρολογικού κύκλου. Η κατανάλωση και χρήση ακατάλληλου νερού δημιουργεί σοβαρές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον κι αποτελεί τροχοπέδη σε κάθε είδους ανάπτυξη. Ρυπογόνα εδάφη έχουν άμεση επίπτωση στα καλλιεργούμενα φυτά εισάγοντας ρυπαντικά στοιχεία μέσω της τροφικής αλυσίδας στον άνθρωπο.

#### **1.5.1 Γεωγενής επιβάρυνση**

Τα διάφορα γεωλογικά φαινόμενα που λαμβάνουν χώρα στην επιφάνεια ή στο υπόβαθρο μιας περιοχής συμβάλλουν στη μεταβολή της σύστασης των εδαφών, των επιφανειακών και υπόγειων υδάτινων πόρων. Η αποσάθρωση κι η διάλυση των πετρωμάτων, αποτελεί φυσική διαδικασία επιβάρυνσης των υδάτων κι εμπλουτισμού τους με στοιχεία όπως το κάλιο, το νάτριο, το ασβέστιο, το μαγνήσιο, το πυρίτιο, ο σίδηρος κ.λ.π. Η διαδικασία αποσάθρωσης κι εμπλουτισμού των υδάτων κι εδαφών με θρεπτικά στοιχεία λόγω υδρογεωλογικών φαινομένων είναι πολύ αργή στην φύση, σε αντίθεση με τον εμπλουτισμό λόγω ανθρωπογενών επιδράσεων που είναι ταχεία.

Τα αίτια της επιβάρυνσης των νερών κι εδαφών με βαρέα μέταλλα συνδέονται είτε με φυσικές ή με τεχνητές πηγές. Πολλά μεταλλικά στοιχεία βρίσκονται σε ποικίλες

συγκεντρώσεις στους διάφορους γεωλογικούς σχηματισμούς, λόγω όμως της δυσδιαλυτότητάς τους βρίσκονται στα υπόγεια νερά σε πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις. Ο φυσικός εμπλουτισμός των υπόγειων νερών με βαρέα μέταλλα λαμβάνει χώρα κάτω από ιδιαίτερες συνθήκες κι εξαρτάται άμεσα από το pH και το Eh.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα γεωγενούς επιβάρυνσης είναι τα όξινα νερά απορροής των μεταλλείων. Οι στοές αποτελούν πέρασμα για τα κατερχόμενα μετεωρικά νερά. Το οξυγόνο της ατμόσφαιρας προσφέρει τις κατάλληλες συνθήκες για την οξειδωση των ορυκτών. Η οξειδωση των μικτών θειούχων ορυκτών συμβάλλει στον εμπλουτισμό των υδάτων με πολλά μεταλλικά στοιχεία.

Παρόμοιες καταστάσεις διαπιστώνονται σε περιοχές με ηφαιστειακή δραστηριότητα. Μετά την έξοδο των τοξικών αερίων και των διαφόρων μεταλλικών ιχνοστοιχείων στην ατμόσφαιρα, αυτά επιστρέφουν στο έδαφος με τη βροχή επιβαρύνοντάς το καθώς και τους υδροφόρους ορίζοντες λόγω της κατείσδυσης του νερού (Καλλέργης, 2000).

### 1.5.2 Ανθρωπογενής επιβάρυνση

Πολλές δραστηριότητες του ανθρώπου στην επιφάνεια της γης συμβάλλουν σημαντικά στην υποβάθμιση των εδαφικών και υδατικών πόρων και πολλές φορές τα καθιστούν ακατάλληλα για οποιαδήποτε χρήση. Τα απορρίμματα, τα λύματα των μη στεγανών αποχετεύσεων και σηπτικών βόθρων καθώς και τα καυσαέρια εργοστασίων, καμινάδων, αεροπλάνων και οχημάτων συντελούν σ' αυτήν την υποβάθμιση ανάλογα με το βαθμό της ρύπανσης.

Μια απ' τις σημαντικότερες ανθρώπινες δραστηριότητες που ρυπαίνει τόσο τα νερά όσο και τα εδάφη είναι η ρίψη μεγάλων ποσοτήτων λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων στους αγρούς. Αν οι ποσότητες αυτές υπερβαίνουν τις ανάγκες των καλλιεργούμενων φυτών, τότε οι ουσίες αυτές εκπλένονται προς τα υπόγεια ή μεταφέρονται προς τα επιφανειακά νερά, με ό,τι μπορεί αυτό να συνεπάγεται στην ποιότητά τους.

#### 1.5.2.1. Ρύπανση των υπόγειων νερών από τη χρήση αγροχημικών

Έχει διαπιστωθεί ότι η συστηματική χρήση λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων προξενεί σημαντική επιβάρυνση τόσο του εδάφους όσο και των υδροφόρων οριζόντων.

Όσον αφορά τα λιπάσματα, τα κυριότερα που χρησιμοποιούνται είναι ενώσεις του αζώτου, φωσφόρου και καλίου. Τα φωσφορούχα και καλιούχα λιπάσματα έχουν την τάση να προσροφώνται κυρίως απ' τα αργιλικά ορυκτά του εδάφους. Αυτό συμβάλλει στη μείωση της επιβάρυνσης των υπόγειων νερών. Αντίθετα στα επιφανειακά νερά η επιβάρυνση είναι εντονότερη μέσω της διάβρωσης του εδάφους. Τα αζωτούχα λιπάσματα – μεταξύ των οποίων και η κοπριά – συμβάλλουν σημαντικά στη νιτρορύπανση των υπόγειων υδάτων καθόσον, η περισσευούμενη ποσότητα του ανόργανου αζώτου που δεν προσλαμβάνεται απ' τα φυτά κατεισδύει προς τα υπόγεια νερά με τη βοήθεια του αρδευτικού και βρόχινου νερού. Το άζωτο N των λιπασμάτων βρίσκεται σε οργανική μορφή και με τη βοήθεια των αζωτοβακτηρίων μετατρέπεται σε ανόργανη μορφή, για να αφομοιωθεί αργότερα απ' τα φυτά ή να εκπλυθεί προς τον υδροφόρο (Καλλέργης 2000, Κερκίδης 2004).

Όσον αφορά τα φυτοφάρμακα, η συμβολή τους στη ρύπανση των υπόγειων υδάτων εξαρτάται απ' τις εξής ιδιότητές τους:

- ✦ **Διαλυτότητα:** Είναι η τάση τους να διαλύονται στο νερό. Τα περισσότερα φυτοφάρμακα έχουν διαλυτότητα μεγαλύτερη από 30 mg/lit αυξάνοντας τις πιθανότητες για έκλυση. Τα φυτοφάρμακα με μικρή διαλυτότητα διαφεύγουν στο περιβάλλον μέσω της επιφανειακής απορροής και της διάβρωσης των εδαφών.
- ✦ **Προσρόφηση:** Η ένταση της προσρόφησης από τα ορυκτά του εδάφους είναι

συνάρτηση των χημικών ιδιοτήτων της ουσίας, των χαρακτηριστικών και της περιέχουσας οργανικής ουσίας του εδάφους. Η άργιλος κι η οργανική ουσία προσροφούν τα φυτοφάρμακα εμποδίζοντας την έκπλυση. Σ' αυτήν την περίπτωση η μεταφορά των χημικών ουσιών γίνεται με τη βοήθεια της διάβρωσης και της επιφανειακής απορροής ρυπαίνοντας τους επιφανειακούς υδάτινους αποδέκτες.

➔ **Διάσπαση:** Η διάσπαση των φυτοφαρμάκων χωρίζεται σε:

α) βιολογική: ορισμένοι μικροοργανισμοί όπως οι μύκητες και τα βακτήρια συμβάλλουν στη διάσπαση των οργανικών ενώσεων των φυτοφαρμάκων και χρησιμοποιούν μέρος αυτών ως τροφή. Παράγοντες όπως η θερμοκρασία, το pH, ο αερισμός, τα θρεπτικά στοιχεία κι η υγρασία ευνοούν ή όχι τη βιολογική διάσπαση και αποδόμηση.

β) χημική: πολλά φυτοφάρμακα όπως τα όργανο-φωσφορικά υπόκεινται σε διάσπαση λόγω υδρόλυσης σε υψηλό pH.

γ) φωτόλυση: γίνεται διάσπαση υπό την επίδραση του ηλ. φωτός. Η ενσωμάτωση στο έδαφος μειώνει την φωτόλυση. Τα φυτοφάρμακα μόλις φτάσουν το υπόγειο νερό, συνεχίζουν να διασπώνται αλλά σε μικρότερο βαθμό λόγω έλλειψης φωτός.

➔ **Πτητικότητα:** Είναι η ικανότητα των φυτοφαρμάκων να αεριοποιούνται. Το ποσοστό διαφυγής των αγροχημικών λόγω πτητικότητας είναι πολύ μικρό. Το μεγαλύτερο ποσοστό μετακινείται προς τους υδροφόρους μέσω της κατείδυσης και προς τους επιφανειακούς αποδέκτες μέσω επιφανειακής απορροής. Η πτητικότητα είναι συνάρτηση του μεγέθους σταγόνας, του σχεδιασμού του ακροφυσίου, της πίεσης εφαρμογής, της θερμοκρασίας, της υγρασίας, της εξάτμισης, του ύψους εφαρμογής και της ταχύτητας του ανέμου. Η πτητικότητα μειώνεται με την αύξηση της σταγόνας. (Αντωνόπουλος, 2000).

Οι παράγοντες που συντελούν στην κατακόρυφη εκροή των αγροχημικών και κατ' επέκταση στη ρύπανση των υπόγειων νερών είναι οι εξής:

➔ **Κλίμα**

Οι κλιματικοί παράγοντες μιας περιοχής παίζουν σπουδαίο ρόλο στην έκπλυση των αγροχημικών προς τα υπόγεια νερά. Σε υγρές περιοχές με πολλά κατακρημνίσματα ευνοείται η κατείδυση των αγροχημικών προς τον υπόγειο υδροφόρο, καθόσον τα αγροχημικά δεν προλαβαίνουν ν' απορροφηθούν απ' το φυτό και παρασύρονται με την κίνηση των κατακρημνισμάτων προς τα κάτω. Ο μεγάλος αριθμός κατακρημνισμάτων καθορίζει και το ύψος του υδροφόρου με τις ανάλογες συνέπειες στην ρύπανση του υπογείου νερού. Αντίθετα στις ξηρές περιοχές ελαχιστοποιείται ο κίνδυνος έκπλυσης των αγροχημικών και ρύπανσης του υπόγειου νερού (USC, OTA, 1990).

➔ **Τοπογραφία κι εδαφική επιφάνεια**

Η τοπογραφία και η τραχύτητα της εδαφικής επιφάνειας μιας περιοχής μπορεί να επηρεάσουν την κίνηση των αγροχημικών που εφαρμόζονται επί του αγρού. Τα εδάφη με μεγάλη κλίση είναι επιρρεπή στην υδατική διάβρωση με συνέπεια να μεταφέρουν μαζί με το διαβρωμένο υλικό και μέρος των αγροχημικών, απολήγοντάς το είτε σε επιφανειακούς υδάτινους αποδέκτες είτε σε μέρη με διαφορετικό γεωλογικό υπόβαθρο και φυσικές ιδιότητες εδάφους απ' την περιοχή εφαρμογής, με ανάλογες συνέπειες στην έκπλυση των αγροχημικών (USC, OTA, 1990).

➔ **Έκθεση στον ήλιο**

Μερικά φυτοφάρμακα διασπώνται όταν εκτίθενται άμεσα στο ηλιακό φως. Το ποσοστό διάσπασης των χημικών ουσιών είναι συνάρτηση του χρόνου έκθεσης στο ηλιακό φως. Η έκθεση στον ήλιο είναι συνάρτηση της τοπογραφίας, η οποία ανάλογα τον προσανατολισμό της δίνει και την αντίστοιχη έκθεση στον ήλιο. Επιπρόσθετα, η τοπογραφία επηρεάζει την θερμοκρασία του εδάφους και την μικροπανίδα και χλωρίδα

που με τη σειρά τους επηρεάζουν την διάσπαση των φυτοφαρμάκων (USC, OTA, 1990).

#### ➤ **Βλάστηση**

α) τύπος βλάστησης

Η παρουσία κι ο τύπος της βλάστησης επηρεάζουν άμεσα την κίνηση του νερού και κατ' επέκταση την κίνηση των ρυπαντών που κινούνται με τη βοήθεια του νερού. Καλλιέργειες όπως η μηδική που έχει πολύ βαθύ ριζικό σύστημα και μεγάλες απαιτήσεις σε νερό, επιδρούν διαφορετικά στην έκπλυση αγροχημικών συγκριτικά με τα επιπολαιόριζα και με μικρές απαιτήσεις σε νερό φυτά. Τα αγροχημικά δεν διαπερνούν εύκολα τα βαθύρριζα και με μεγάλες απαιτήσεις σε νερό φυτά. Έτσι περιορίζεται η μετακίνησή τους προς τον υπόγειο υδροφόρο για να τον ρυπάνουν. Αντίθετα, τα αγροχημικά είναι πολύ εύκολο να διαπεράσουν τα επιπολαιόριζα και με μικρές απαιτήσεις σε νερό φυτά. Απ' τη στιγμή που έχουν διαπεράσει το ριζόστρωμα τότε η ρύπανση του υπόγειου νερού είναι αναπόφευκτη.

β) πυκνότητα βλάστησης

Η πυκνότητα των φυτών παίζει εξίσου σπουδαίο ρόλο στην έκπλυση των αγροχημικών. Όταν τα φυτά είναι τοποθετημένα κοντά μεταξύ τους εμποδίζεται η διάβρωση και μειώνεται η κατείδωση των αγροχημικών προς το υπόγειο νερό. Πυκνοφυτεμένα φυτά, όπως είναι το γρασίδι, προστατεύουν το έδαφος απ' την αιολική και υδατική διάβρωση και απορροφούν υψηλό ποσοστό του νερού της βροχής. Το αντίθετο συμβαίνει με τα αραιοφυτεμένα φυτά όπως είναι το βαμβάκι, η σόγια και το καλαμπόκι. Επίσης, όσο πιο πυκνό είναι το ριζικό σύστημα τόσο μειώνονται οι πιθανότητες να διαπεράσουν τα διαλυτά στοιχεία το ριζόστρωμα και να ρυπάνουν το υπόγειο νερό. Αυτό ισχύει κυρίως όταν τα στοιχεία προστίθενται κατά τη διάρκεια της περιόδου ανάπτυξης των φυτών.

γ) χρονική περίοδος

Ιδιαίτερη σημασία έχει η χρονική περίοδος της καλλιέργειας. Στο τέλος των ετησίων καλλιεργειών τα αγροχημικά παραμένουν στο έδαφος, και δεν απορροφούνται πλέον απ' τα φυτά. Ένα ποσοστό αυτών προσροφάται απ' την οργανική ουσία κι ένα ποσοστό επίσης εκπλένεται προς το υπόγειο νερό συνεισφέροντας στην ρύπανση του (USC, OTA 1990).

#### ➤ **Φυσικές ιδιότητες εδάφους**

Οι φυσικές ιδιότητες του εδάφους καθορίζονται απ' την αλληλεπίδραση των παραγόντων εδαφογένεσης όπως το μητρικό υλικό, η τοπογραφία, η βλάστηση, οι μικροοργανισμοί και η χρονική διάρκεια. Οι ιδιότητες αυτές του εδάφους με τη σειρά τους επηρεάζουν την ταχύτητα με την οποία τα αγροχημικά κινούνται προς το υπόγειο νερό. Οι ιδιότητες αυτές περιλαμβάνουν κυρίως την υφή και τη δομή καθώς και την περιεκτικότητα σε υγρασία και θερμοκρασία. Οι ιδιότητες αυτές επηρεάζουν άλλες ιδιότητες του εδάφους (φυσικές και μη) όπως η βιολογική δραστηριότητα, που με τη σειρά τους επηρεάζουν κι αυτές την κατακόρυφη εκροή των ρυπαντών προς τα υπόγεια νερά.

Η υφή κι η δομή του εδάφους σχετίζεται με το μέγεθος και το σχήμα των κόκκων και το βαθμό συσσωμάτωσης των σωματιδίων τα οποία καθορίζουν τον όγκο του αέρα και του νερού που μπορεί ν' αποθηκευτεί στους πόρους. Τα διάκενα μεταξύ των εδαφικών σωματιδίων αποτελούν το πορώδες του εδάφους. Αν οι πόροι είναι ενωμένοι μεταξύ τους, όπως συμβαίνει στην άμμο και τα χαλίκια, διευκολύνεται η κίνηση του νερού. Γι αυτό είναι σημαντικό να γνωρίζουμε όχι μόνο το μέγεθος των πόρων αλλά και σε ποιο βαθμό ενώνονται μεταξύ τους για να μπορέσουμε να προβλέψουμε την πιθανή έκπλυση αγροχημικών προς τον υδροφόρο.

Η διηθητικότητα του εδάφους που έχει άμεση σχέση με την υφή και τη δομή επιδρά κι αυτή στην έκπλυση των αγροχημικών. Τα εδάφη με μεγάλη διηθητικότητα διευκολύνουν την κίνηση των ρυπαντικών στοιχείων των αγροχημικών προς τα κατώτερα στρώματα του εδάφους, ενώ εδάφη με μικρή διηθητικότητα εμποδίζουν κι επιβραδύνουν την κίνηση αυτή (USC, OTA, 1990).

#### ✦ Βιολογικοί παράγοντες

Οι βιολογικοί παράγοντες μπορούν να επηρεάσουν με τη δραστηριότητά τους την κίνηση του νερού και των ουσιών που περιέχει προς το υπέδαφος. Οι οργανικές ενώσεις διασπώνται πιο εύκολα στην ανώτερη μικροβιακά ενεργή εδαφική ζώνη παρ' όλο που υπάρχει εξίσου σημαντικός αριθμός μικροβίων και στις κατώτερες εδαφικές ζώνες. Τα εδάφη που αντιδρούν καλύτερα στ' αγροχημικά έχουν μεγάλη ικανότητα συγκράτησης υγρασίας, μεγάλη ΙΑΚ (ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων), καλή δομή και ακμαίους πληθυσμούς από ωφέλιμα βακτήρια, μύκητες και ασπόνδυλα. Ωστόσο, οι πληθυσμοί των τελευταίων, πέρα απ' τις ευεργετικές τους διεργασίες ανοίγουν τρύπες στο έδαφος οι οποίες επιτρέπουν τη γρήγορη κίνηση του νερού προς το υπέδαφος.

##### α) Μικροοργανισμοί

Οι περισσότεροι μικροοργανισμοί του εδάφους είναι μικροσκοπικοί και αόρατοι με γυμνό μάτι. Οι μικροοργανισμοί αυτοί (βακτήρια, μύκητες, ακτινομύκητες και πρωτόζωα) παρέχουν σημαντικές λειτουργίες, όπως είναι ο μεταβολισμός της οργανικής ουσίας και η απελευθέρωση θρεπτικών στοιχείων για το φυτό. Η μικροβιακή αποδόμηση της οργανικής ουσίας απελευθερώνει επίσης στοιχεία, τα οποία δεν χρησιμοποιούνται άμεσα απ' τα φυτά. Κάποια απ' αυτά μετατρέπονται σε αέρια μορφή, όπως είναι το διοξείδιο του άνθρακα CO<sub>2</sub> και τα οξείδια του αζώτου.

Οι πιθανοί ρυπαντές του υπόγειου νερού μπορεί να μετατραπούν σε μη τοξική μορφή υπό την επίδραση της βιολογικής δράσης. Ορισμένοι συγκεκριμένοι μικροοργανισμοί του εδάφους μπορούν και μετατρέπουν τις αζωτούχες οργανικές ενώσεις σε νιτρικά άλατα, τα οποία είναι χρήσιμα μεν στα φυτά αλλά είναι ευδιάλυτα και μεταφέρονται ανεμπόδιστα προς τα υπόγεια νερά.

Επιπρόσθετα, οι μικροοργανισμοί του εδάφους είναι υπεύθυνοι για την αποσύνθεση μεγάλου αριθμού συνθετικών οργανικών χημικών στο καλλιεργούμενο έδαφος και στο νερό (περιλαμβανομένων εντομοκτόνων, βιομηχανικών αποβλήτων, ατμοσφαιρικών ρύπων) οι οποίοι μετατρέπουν αυτά σε ανόργανα προϊόντα. Η διαδικασία της αποσύνθεσης μπορεί να οδηγήσει στην παραγωγή τοξικών στοιχείων ή μη τοξικών, κάτι που είναι δύσκολο να καθοριστεί εφόσον οι επιστήμονες έχουν ερευνήσει πολύ λίγες τέτοιες χημικές διεργασίες.

##### β) Ασπόνδυλα και σπονδυλωτά ζώα εδάφους

Η πανίδα του εδάφους περιλαμβάνει πέραν των αναρίθμητων μικροβίων και μια μεγάλη ποικιλία από ασπόνδυλα ζώα και λίγα σπονδυλωτά. Κάποια απ' αυτά τα ασπόνδυλα, όπως είναι οι γαιοσκώληκες, τα μυρμήγκια, τα έντομα του εδάφους, τα σαλιγκάρια και τα γαστρόποδα, συντελούν τόσο στην αποδόμηση και διάσπαση των αγροχημικών όσο και στην έκπλυσή τους προς τα υπόγεια νερά. Τα κυρίαρχα σπονδυλωτά ζώα του εδάφους είναι τα μικρά θηλαστικά αλλά και κάποια αμφίβια, ερπετά ή και πουλιά που ζουν μέρος της ζωής τους μέσα στο έδαφος.

Όλοι αυτοί οι οργανισμοί θεωρούνται αρκετά σημαντικοί στη γεωργία λόγω των σημαντικών λειτουργιών που προσφέρουν για τα φυτά. Για παράδειγμα τα απορρίμματα των γαιοσκωλήκων είναι πλούσια σε θρεπτικά στοιχεία και συμβάλλουν στη δημιουργία κολλώδους ουσίας για τη συγκόλληση των εδαφικών σωματιδίων. Ωστόσο πολλές διεργασίες των ζώων αυτών του εδάφους θεωρούνται αρνητικές. Για παράδειγμα, τα ζώα αυτά ανοίγουν τεράστιες οπές στο έδαφος διευκολύνοντας τ' αγροχημικά να κινηθούν γρήγορα προς το υπόγειο νερό (USC, OTA, 1990).

### ➤ Υδροφόρος

Ο εμπλουτισμός, το πάχος της ακόρεστης ζώνης και η διακύμανση της στάθμης των υδροφόρων οριζόντων ποικίλουν ανάλογα με το κλίμα, το έδαφος, την τοπογραφία και τη γεωλογία. Ο υδροφόρος εμπλουτίζεται πιο γρήγορα σε περιοχές όπου τα κατακρημνίσματα είναι πολύ υψηλότερα απ' την εξάτμιση. Αντίθετα σε περιοχές που επικρατούν ξηρές περιόδους για μεγάλα χρονικά διαστήματα, η πτώση της στάθμης είναι έντονη και η τροφοδοσία τους μειώνεται αισθητά.

Το φαινόμενο της ρύπανσης των υδροφόρων παρατηρείται περισσότερο έντονα στις υγρές περιοχές και λιγότερο στις ξηρές. Σ' αυτό συντελούν τόσο τα κατακρημνίσματα στη γρήγορη διείσδυση των αγροχημικών καθώς επίσης οι τοπικές υδρογεωλογικές συνθήκες. Αντίθετα στις ξηρές περιοχές, πέραν των περιορισμένων κατακρημνισμάτων, το πάχος της ακόρεστης ζώνης είναι σημαντικό. Έτσι τα αγροχημικά έχουν μικρή πιθανότητα να συναντήσουν τον υδροφόρο.

Η στάθμη του υπόγειου υδροφόρου κυμαίνεται ανάλογα με την εποχή. Συνήθως το μέγιστο ύψος το φθάνει κατά τη διάρκεια της άνοιξης όταν λιώνουν τα χιόνια κι οι βροχές είναι πιο συχνές. Αυτήν την περίοδο συνήθως εφαρμόζονται κι οι μεγαλύτερες ποσότητες αγροχημικών, καθιστώντας αυτήν την περίοδο την πιο κρίσιμη για την έκπλυση τους και στη συνέχεια τη ρύπανση των υπογείων νερών (USC, OTA, 1990).

### ➤ Γεωλογία του υπεδάφους

Τέλος, τα γεωλογικά χαρακτηριστικά του υπεδάφους επιδρούν κι αυτά είτε θετικά είτε αρνητικά στην έκπλυση των αγροχημικών προς τα υπόγεια νερά. Οι υδροστεγανοί σχηματισμοί εμποδίζουν την κατείδυση του νερού και τη μετακίνηση των ρυπαντών. Αντίθετα τα έντονα διερρηγμένα πετρώματα διευκολύνουν τη διείσδυση του νερού προς τα κατώτερα στρώματα. Ιδιαίτερα οι καρστικοποιημένοι ανθρακικοί σχηματισμοί διευκολύνουν απεριόριστα την κίνηση του νερού και των αγροχημικών προς τους καρστικούς υδροφόρους ορίζοντες (USC, OTA 1990).

#### 1.5.2.2. Ρύπανση των υδάτων και εδαφών σε βαρέα μέταλλα

Τα βαρέα μέταλλα απαντώνται σε μικρές συγκεντρώσεις στη φύση και αποτελούν μόλις το 1% των πετρωμάτων του φλοιού της γης ( συνήθως λιγότερο από 0,01% ή 100 mg kg<sup>-1</sup> ) (Alloway, 1995). Προέρχονται κυρίως από φυσικές διεργασίες, όπως είναι η ηφαιστειακή δραστηριότητα, η αποσάθρωση και από άλλους εδαφογενετικούς μηχανισμούς, με τους οποίους δημιουργούνται τα εδάφη. Η σύσταση των κυριότερων ορυκτών σε βαρέα μέταλλα φαίνεται στον πίνακα 1.3.

**Πίνακας 1.3:** Σύσταση των κυριότερων ορυκτών σε βαρέα μέταλλα (Mittell, 1964)

ορυκτό	περιέχοντα μέταλλα
ολιβίνες	Ni, Co, Mn, Li, Zn, Cu, Mo
πυριτικά	Ni, Co, Mn, Sc, Li, V, Zn, Cu, Ga
βιοτίτες	Rb, Ba, Ni, Co, Sc, Li, Mn, V, Zn, Cu, Ga
απατίτες	Pb, Sr
ανορθίτες	Sr, Cu, Ga, Mn
ολιγόκλαστα	Cu, Ga
αλβίτες	Cu, Ga
ορθόκλαστα	Rb, Ba, Sr, Cu, Ga
μοσχοβίτες	F, Rb, Ba, Sr, Cu, Ga, V
ασβεστίτες	Co, Ni, Cr, V
μαγνησίτες	Zn, Co, Ni, Cr, V

Η ύπαρξη των βαρέων μετάλλων σε μεγάλες κι ασυνήθιστες συγκεντρώσεις αποδίδεται συνήθως σε ανθρωπογενείς παράγοντες κι αποτελούν μείζον πρόβλημα

καθόσον μπορούν είτε να απορροφηθούν από τα φυτά, είτε να μεταφερθούν σε άλλες περιοχές, μέσω της διάβρωσης των εδαφών, της εξάτμισης και της έκπλυσής τους προς τους υπόγειους υδροφόρους ορίζοντες. Σημαντική παράμετρος για τη συγκέντρωση των βαρέων μετάλλων στους εδαφικούς και υδατικούς πόρους αποτελεί η αθροιστική τους ικανότητα, διότι με την πάροδο του χρόνου μπορεί ακόμα και οι μικρές συγκεντρώσεις να φτάσουν σε τοξικά επίπεδα. Η εμφάνιση των βαρέων μετάλλων στο εδαφικό προφίλ που αποδίδεται σε ανθρωπογενείς δραστηριότητες μπορούν να φθάσουν σε βάθος από 30 εκατοστά έως και 1 μέτρο (Sterckeman et al., 2002).

Οι κύριες ανθρωπογενείς πηγές των βαρέων μετάλλων είναι η καύση ορυκτών καυσίμων, η μεταλλεία και η καμίνευση των μεταλλουργικών προϊόντων, τα βιομηχανικά απόβλητα (αέρια, στερεά και υγρά), τα αστικά λύματα και τα στερεά απορρίμματα, τα μέσα μεταφοράς, η κεντρική θέρμανση και οι γεωργικές δραστηριότητες με τη χρήση λιπασμάτων, φυτοφαρμάκων και βελτιωτικών εδάφους (Adriano, 1986, Kabata-Pendias and Pendias 1992, Vangronsveld and Cunningham 1998). Η συμβολή των γεωργικών δραστηριοτήτων στη ρύπανση των εδαφών φαίνεται στους πίνακες 1.4 και 1.5.

**Πίνακας 1.4** Γεωργικές πηγές ρύπανσης των εδαφών σε βαρέα μέταλλα (ppm) (Kabata-Pendias and Pendias, 1992).

στοιχείο	απόβλητα	φωσφορούχα λιπάσματα	ασβέστης	αζωτούχα λιπάσματα	κοπριά	φυτοφάρμακα
<b>Br</b>	20 - 165	3 - 5	-	185 - 716	16 - 41	20 -85
<b>Cd</b>	2 - 1500	0,1 - 170	0,04 - 0,1	0,05 - 8,5	0,3 - 0,8	-
<b>Co</b>	2 - 260	1 - 12	0,4 - 3	5,4 - 12	0,3 - 24	-
<b>Cr</b>	20 - 40.600	66 - 245	10 - 15	3,2 - 19	5,2 - 55	-
<b>Cu</b>	50 - 3.300	1 - 300	2 - 125	<1 - 15	2 - 60	12 - 50
<b>F</b>	2 - 740	8.500 - 38.000	300	-	7	18 - 45
<b>Mn</b>	60 - 3.900	40 - 2.000	40 - 1.200	-	30 - 550	-
<b>Ni</b>	16 - 5.300	7 - 38	10 - 20	7 - 34	7,8 - 30	-
<b>Pb</b>	50 - 3.000	7 - 225	20 - 1.250	2 - 27	6,6 - 15	60
<b>Sr</b>	40 - 360	25 - 500	610	-	80	-

**Πίνακας 1.5:** Συγκεντρώσεις των σημαντικότερων βαρέων μετάλλων (σε ppm) που περιέχουν ορισμένα λιπάσματα και βελτιωτικά εδάφους ([www.lenntech.com/heavy-metals.htm](http://www.lenntech.com/heavy-metals.htm))

	Ορυκτός Φώσφορος	Τρι-φωσφορικό άλας (triple superphosphate)	Νιτρική Αμμωνία	Κοπριά βοοειδών	Κοπριά πουλερικών	Κοπριά χοίρων
<b>Cd</b>	1,3-48,8	5,0-6,2	<0,20	0,7	0,20-0,30	0,50-0,82
<b>Cr</b>	33,2-140	88,9	-	-	<1,0-7,7	2,2-13
<b>Cu</b>	9,6	3,2-3,5	<0,60	18	48-78	250-600
<b>Pb</b>	4,6-29,2	11,1-13,2	<0,40	7,5	6,0-8,4	7,0-11
<b>Ni</b>	16,8-50,4	15,6-25,2	<0,20	9,6	7,1-9,0	11-33
<b>Zn</b>	78,8-382	61,3	-	-	330-456	540-1.200

Είναι σημαντικό να αναφερθεί πως η πλειοψηφία των βαρέων μετάλλων, μη γεωγενούς προέλευσης, παραμένει σε αδιάλυτη μορφή στα επιφανειακά στρώματα του εδάφους, μην αφήνοντας τα στοιχεία να εκπλυθούν προς τα υπόγεια νερά. Ως εκ τούτου, αναμένεται μεγάλη διαφορά στις συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων μεταξύ των υπόγειων νερών και των αντίστοιχων πλησιέστερων σημείων υδροληψίας εδαφικών δειγμάτων (Alloway, 1995).



Με βάση την τοξικότητα των βαρέων μετάλλων, οι Nieboer και Richardson (1980) κατατάσσουν αυτά σε τρεις κατηγορίες: στα πολύ τοξικά, στα ενδιάμεσης τοξικότητας στα οποία περιλαμβάνεται η πλειοψηφία των βαρέων μετάλλων που εξετάζονται παρακάτω, και στα χαμηλής τοξικότητας που περιλαμβάνουν το εξεταζόμενο στην παρούσα εργασία στρόντιο.

**Πίνακας 1.6:** Κατάταξη βαρέων μετάλλων με βάση την τοξικότητα αυτών (Nieboer and Richardson, 1980)

A. πολύ τοξικά	Au <sup>+</sup> , Ag <sup>+</sup> , Ti <sup>+</sup> , Cu <sup>+</sup> , Pd <sup>+2</sup> , Pt <sup>+2</sup> , Hg <sup>+2</sup> , Pb <sup>+4</sup> , Bi <sup>+3</sup>
B. ενδιάμεσης τοξικότητας	Cd <sup>+2</sup> , Pb <sup>+2</sup> , Sn <sup>+2</sup> , Cu <sup>+2</sup> , Co <sup>+2</sup> , Fe <sup>+2</sup> , Ni <sup>+2</sup> , Cr <sup>+2</sup> , Ti <sup>+2</sup> , Zn <sup>+2</sup> , V <sup>+2</sup> , Sb, As, Sn <sup>+4</sup> , Fe <sup>+3</sup> , Mn <sup>+2</sup> , Ga <sup>+3</sup>
Γ. Χαμηλής τοξικότητας	Ba <sup>+2</sup> , Sr <sup>+2</sup> , Mg <sup>+2</sup> , Sc <sup>+3</sup>

### 1.5.2.3. Ρύπανση από απόβλητα ελαιοτριβείων

Τα απόβλητα ελαιοτριβείων είναι πλούσια σε φαινολικές ουσίες, περιέχουν δε υδραζίνες και κυανίδια. Οι φαινόλες που περιέχονται στον κασίγαρο έχουν βρεθεί 12,4mg/ml (Παπαλουκοπούλου κ.α., 2002). Οι συγκεντρώσεις των διαφόρων φαινολικών συστατικών του κασίγαρου παρατίθενται στον πίνακα 1.7 (Ναυροζίδης, 2008).

**Πίνακας 1.7:** Συγκεντρώσεις φαινολικών συστατικών κασίγαρου (Ναυροζίδης, 2008)

Φαινολικά συστατικά	Συγκέντρωση (mg/l)
Tyrosol	5-100
Hydroxytyrosol	35-130
Caffeic acid	4-12
Elenolic acid	17-1430
Luteolin	2-623
Cinamic acid	1-118

Οι φαινόλες παρουσιάζουν ιδιαίτερο περιβαλλοντικό ενδιαφέρον διότι 1) περιορίζουν το φάσμα και τη δράση των μικροοργανισμών που θα μπορούσαν να αποικοδομήσουν τα άλλα υλικά, 2) προσδίδουν τοξικές ιδιότητες στα απόβλητα επηρεάζοντας την υδρόβια πανίδα και χλωρίδα και 3) βιοαποικοδομούνται με πολύ αργό ρυθμό και κυρίως από αναερόβιους μικροοργανισμούς (π.χ. μεθανοβακτήρια) εντείνοντας τυχόν δυσάρεστες οσμές (Γεωργακάκης κ.α., 1994). Οι φαινόλες καταστρέφονται άμεσα σε θερμοκρασία μεγαλύτερη των 1100°C, καθώς άλλα χημικά συστατικά μπορούν να επεξεργαστούν κάτω από φυσικές συνθήκες ([www.mhhe.com](http://www.mhhe.com)).

## 1.6 Νομοθεσία

Το υφιστάμενο θεσμικό πλαίσιο στη διαχείριση των υδάτων περιλαμβάνει

- την οδηγία 2000/60/EK του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 23<sup>ης</sup> Οκτωβρίου 2003: "Θέσπιση πλαισίου κοινοτικής δράσης στον τομέα της πολιτικής των υδάτων".
- το Ν. 3199/2003: "Προστασία και διαχείριση των υδάτων – Εναρμόνιση με την οδηγία 2000/60/EK του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 23<sup>ης</sup> Οκτωβρίου 2003".

- Το Π.Δ. 51/2007: "Προσαρμογή της οδηγίας 60/2000 στα Ελληνικά δεδομένα".  
Υπό ψήφιση είναι και η οδηγία για την προστασία και ορθολογική διαχείριση των εδαφών.

Το ισχύον θεσμικό πλαίσιο σκοπεύει σε μια ολοκληρωμένη προσέγγιση της προστασίας των υδατικών πόρων με διαχείριση ανά λεκάνη απορροής, ενιαία θεώρηση και αναγνώριση όλων των τύπων των υδατικών συστημάτων με συγκεκριμένα κριτήρια, σχεδιασμό και υλοποίηση προγραμμάτων διαχείρισης και διασφάλιση κι ενίσχυση της συμμετοχής του κοινού στη λήψη αποφάσεων.

Οι προαναφερθέντες οδηγίες (2000/60/ΕΚ, υπό ψήφιση για το έδαφος) και ο νόμος 3199/2003 εστιάζουν στην έλλειψη επάρκειας νερού λόγω κλιματικών αλλαγών, στη μη ορθολογική διαχείριση των εδαφοϋδατικών πόρων, στην περιβαλλοντική ανθρωπογενή υποβάθμιση, στην ανάκτηση του κόστους των υπηρεσιών ύδατος με τη συμβολή των διαφόρων χρήσεων ύδατος και στην ανάλυση και αναθεώρηση των ανθρώπινων χρήσεων.

Η διαφοροποίηση σχετικά με το προηγούμενο θεσμικό πλαίσιο είναι ο σχεδιασμός μέτρων κατά της ρύπανσης, η εισαγωγή του περιβαλλοντικού και κοινωνικού κόστους στην τιμολόγηση των χρήσεων και υπηρεσιών νερού και οι προβλεπόμενες κυρώσεις στον «ρυπαίνων» (εφαρμογή της λογικής "ο ρυπαίνων πληρώνει").

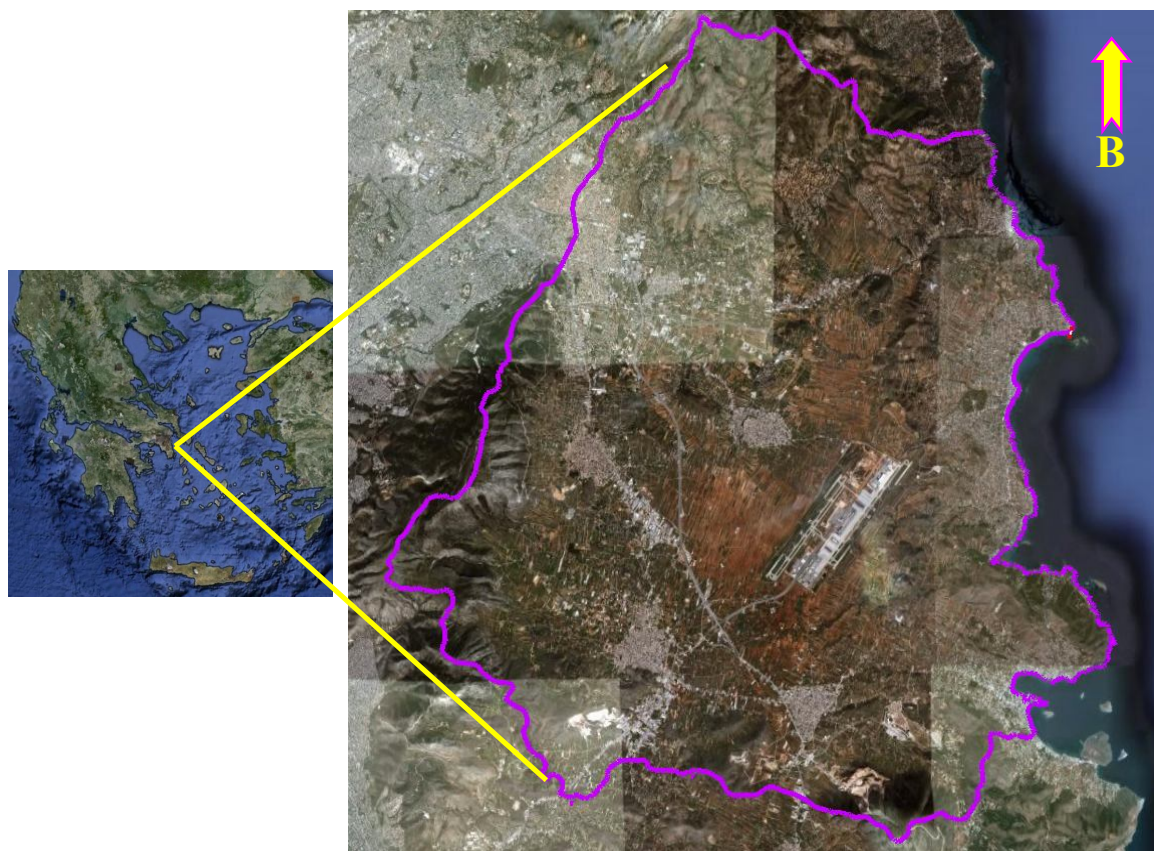


## 2. ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΡΕΥΝΑΣ

### 2.1 Γεωγραφικά στοιχεία

Η περιοχή έρευνας καλύπτει μεγάλο τμήμα της Νοτιο-Ανατολικής Αττικής, στην οποία περιλαμβάνονται οι ακόλουθοι 10 δήμοι: ο Δήμος Αρτέμιδος, Γέρακα, Γλυκών Νερών, Κρωπίας, Μαρκοπούλου, Παιανίας, Παλλήνης, Πικερμίου, Ραφήνας και Σπάτων. Μετά την εφαρμογή του σχεδίου «Καλλικράτης» οι δήμοι Γέρακας και Παλλήνης ενοποιήθηκαν στο δήμο Παλλήνης, τα Γλυκά Νερά κι η Παιανία στο δήμο Παιανίας, η Ραφήνα και το Πικέρμι ενοποιήθηκαν στο δήμο Ραφήνας-Πικερμίου και τα Σπάτα και η Αρτεμις στο δήμο Σπάτων-Αρτέμιδος.

Η περιοχή περιλαμβάνει τις λεκάνες απορροής των δύο μεγάλων ποταμών των Μεσογείων, του Ερασίνου που εκβάλλει στη Βραυρώνα και του Μεγάλου Ρέματος που εκβάλλει στη Ραφήνα, κι οριοθετείται από τους αντίστοιχους υδροκρίτες. Η περιοχή παρουσιάζεται στο σχήμα 2.1 σε μια πρόσφατη πανοραμική δορυφορική εικόνα.



Σχήμα 2.1: Η περιοχή έρευνας σε δορυφορική εικόνα (Google Earth, 2011).

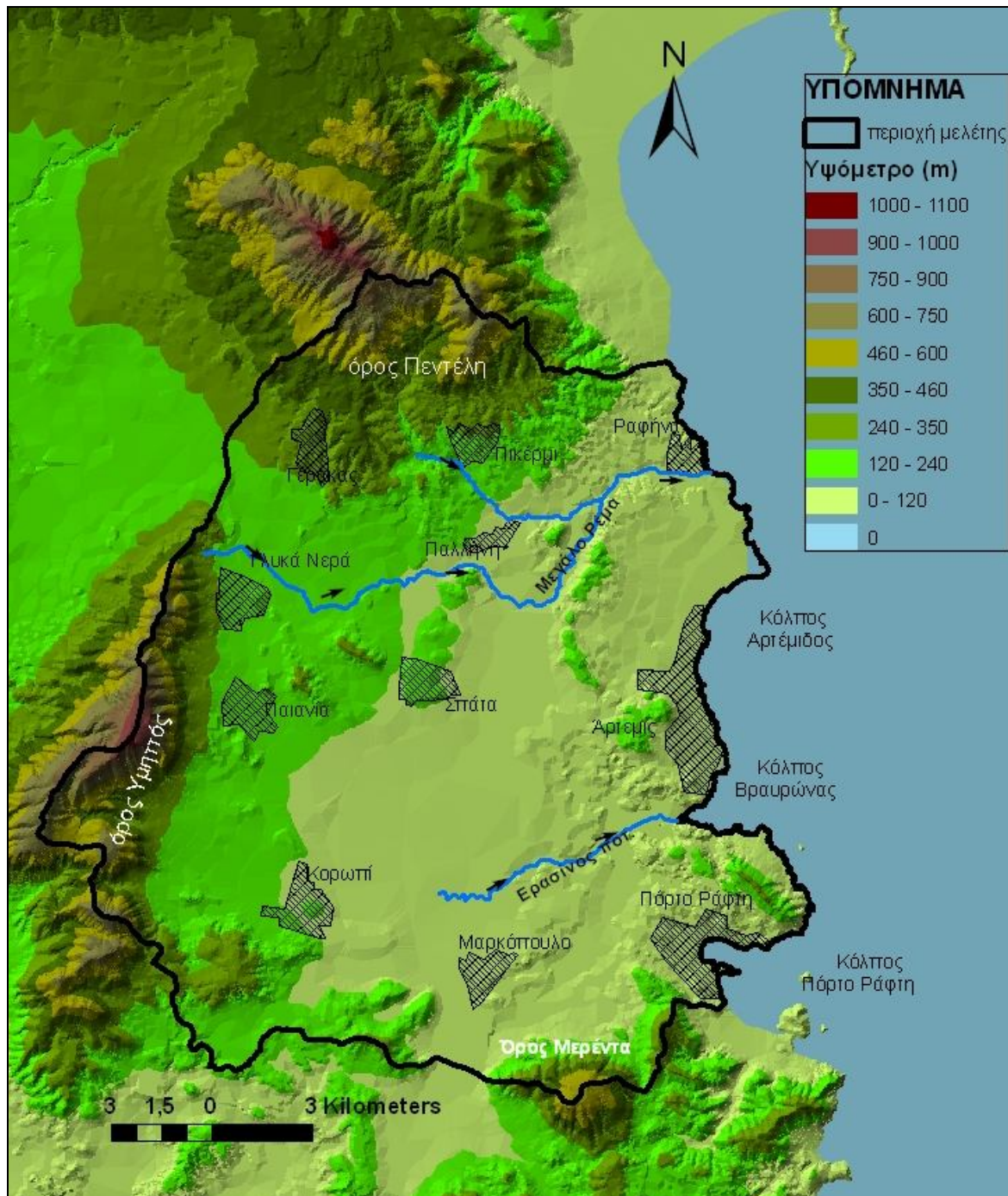
Στον χάρτη του σχήματος 2.2 αποτυπώνεται ως Ψηφιακό Υψομετρικό Μοντέλο, με συντεταγμένες στο Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς ΕΓΣΑ 87, έτσι όπως προέκυψε απ' την επεξεργασία σε περιβάλλον ArcGIS.

#### 2.1.1 Ιστορική ανασκόπηση

Η ύπαρξη ζωής στην Ανατολική Αττική από τα αρχαιότατα χρόνια αναδεικνύεται από πολλά αρχαιολογικά ευρήματα. Η πανίδα του Πικερμίου (πίθηκοι, ύαινες, προβοσκιδωτά, ρινόκεροι, βοοειδή, χοίροι, ελάφια, είδη καμηλοπαρδαλέων, πτηνά, ερπετά και γιγάντιες χελώνες) και το σπήλαιο της Παιανίας αποκάλυψε ζωή εκατομμυρίων χρόνων στην περιοχή έρευνας. Στα προϊστορικά χρόνια η ύπαρξη ζωής διευρύνεται σε όλη την περιοχή. Μαρτυρίες αποτελούν οικισμοί και νεκροταφεία σε τοποθεσίες του Κορωπίου από το 3.000π.Χ., νεολιθικά λείψανα και οικισμοί στη Ραφήνα, το νεκροταφείο στη



βόρεια όχθη του Μεγάλου Ρέματος (7<sup>ος</sup> αιώνας π.Χ.), το μυκηναϊκό νεκροταφείο στο λόφο Χαμολιά της Βραυρώνας, υστεροελλαδικά και μυκηναϊκά μνημεία. Τα πρώτα δείγματα τέχνης εμφανίζονται τον 14<sup>ο</sup> αιώνα π.Χ. στην Παιανία κι ακολουθούν ο ιερός Ναός της Βραυρώνιος Αρτέμιδος (8<sup>ος</sup> αι. π.Χ.), τα ιερά Διός ομβρίου και Απόλλωνος προοπίου στο οροπέδιο του Προφήτη Ηλία Υμηττού, το υδραγωγείο δυτικά του Κορωπίου, επιτύμβιες στήλες και λήκυθοι (3<sup>ος</sup>-4<sup>ος</sup> αι. π.Χ.) καθώς κι η δράση επιφανών ανδρών (Δημοσθένης, Παιανεύς, Ξενοφών, Αισχίνης, Επίκουρος κ.α.).



Σχήμα 2.2 Ψηφιακό Υψομετρικό Μοντέλο της περιοχής έρευνας

Ιστορικοί δήμοι μαρτυρούν την ακμή των αρχαίων αιώνων (5<sup>ος</sup>-3<sup>ος</sup> π.Χ.) όπως ο δήμος Τειθρας Αιγείδος φυλής, οι δήμοι Ιονίδα, Έρκεια, Φηγαία, Όα, Γαργειτός κι οι μεγάλοι δήμοι Βραυρώνα και Σφηττός. Ο δήμος Σφηττού επικοινωνούσε με την αρχαία Αθήνα μέσω της Σφηττίας Οδού (από το διάσκελο του Υμηττού) και μνημονεύεται στα

έργα του Αριστοφάνη «Πλούτος» και «Νεφέλαι». Ο Κέκροπας το 1500π.Χ. ίδρυσε στην Αττική 12 δήμους, περιλαμβάνοντας στην «Αττική ομάδα» τους δήμους Βραυρώνα, Θορικός, Κύθηρος και Σφηττός. Ο κάμπος της Μεσογαίας αποτελούσε τον πιο εύφορο τόπο της Αττικής όπου καλλιεργούνταν αμπέλια, ελιές και δημητριακά (Μπούσαλης 1993, [www.koropi.gr](http://www.koropi.gr), [www.pikermi.gr](http://www.pikermi.gr), [www.portoraftinews.gr](http://www.portoraftinews.gr)).

Μετά την ένδοξο περίοδο των αιώνων 5<sup>ος</sup> έως 3<sup>ος</sup> προ Χριστού, η περιοχή παρακμάζει προοδευτικά μέχρι και το τέλος των μεταβυζαντινών χρόνων, χωρίς όμως να εγκαταλειφθεί. Τη Βυζαντινή εποχή η περιοχή αναπτύχθηκε και για την ενίσχυση του εργατικού πληθυσμού εγκαταστάθηκαν στην περιοχή οι Αρβανίτες που γρήγορα ενσωματώθηκαν με τον αυτόχθονο πληθυσμό. Οι προσχώσεις στο δέλτα του Ερασίνου δημιούργησαν έλος το οποίο στα Βυζαντινά και μετέπειτα χρόνια αποτέλεσε εστία νοσημάτων.

Την περίοδο της Τουρκοκρατίας ο πληθυσμός υποτάχθηκε χάνοντας τη γη του. Οι Αρβανίτες και ο αυτόχθονος πληθυσμός χάραζαν πλέον κοινή πορεία ακολουθώντας τα ίδια έθιμα και θρησκεία. Πολλοί κάτοικοι της περιοχής συμμετείχαν στην επανάσταση του 1821. Μετά την Τουρκοκρατία η περιοχή βιώνει την τραγωδία της κατοχής (1940-1945) με θανάτους αρκετών κατοίκων και ολοσχερείς καταστροφές οικιών.

Μετά την απελευθέρωση οι πόλεις έχουν σχεδόν τα όρια της σημερινής περιόδου βιώνοντας ραγδαία ανάπτυξη. Το έλος στο δέλτα του Ερασίνου αποξηράνθηκε και τα εδάφη απαλλοτριώθηκαν δεχόμενα μετέπειτα την εντατική εκμετάλλευση των κατοίκων του Μαρκοπούλου. Το 1951, το χωριό Χαρβάτι (σημερινή Παλλήνη) είχε μόλις 750 κατοίκους φθάνοντας μισό αιώνα αργότερα τους 17.232 κατοίκους. Η περιοχή συνέχισε την αγροτική της πορεία με μεγάλη αύξηση των εξοχικών κατοικιών, νόμιμων και αυθαιρέτων, ιδιαίτερα στην παράκτια ζώνη (Μπούσαλης 1993, [www.koropi.gr](http://www.koropi.gr), [www.pikermi.gr](http://www.pikermi.gr), [www.portoraftinews.gr](http://www.portoraftinews.gr)). Η εκκίνηση κατασκευής του Διεθνούς Αερολιμένα Αθηνών «Ελευθέριος Βενιζέλος» δημιούργησε ένα ντόμινο εξελίξεων στην περιοχή, με στροφή των χρήσεων γης προς τον τριτογενή τομέα. Το λιμάνι της Ραφήνας εξυπηρετεί πλέον αρκετές γραμμές προς την Εύβοια και τα νησιά του Αιγαίου. Το οδικό δίκτυο εξελίχθηκε με διαπλατύνσεις και δημιουργία νέων δρόμων. Στις συγκοινωνίες προστέθηκαν νέες λεωφορειακές γραμμές ενώ το μετρό κι ο προαστιακός σιδηρόδρομος φθάνουν μέχρι και το αεροδρόμιο με μακρόπνοα σχέδια για προσέγγιση του λιμανιού του Λαυρίου.

Η περιοχή συνεχίζει να εξελίσσεται ανοίγοντας ολοένα και περισσότερο την ψαλίδα πρωτογενή και τριτογενή τομέα. Ο ιστορικός κάμπος των Μεσογείων με τα αμπέλια και τις ελιές δείχνει να υποκύπτει στα εμπορικά πολυκαταστήματα και τις τουριστικές επιχειρήσεις.

### **2.1.2 Πληθυσμιακή εξέλιξη**

Ο Πίνακας 2.1 καταγράφει την πληθυσμιακή εξέλιξη των Δήμων της περιοχής απ' το 1961 ως το 1991, σε σύγκριση με το σύνολο της Αττικής και το σύνολο της Χώρας, σύμφωνα με τα στοιχεία των απογραφών της ΕΛ.ΣΤΑΤ. (Ελληνική Στατιστική Αρχή, πρώην Εθνική Στατιστική Υπηρεσία Ελλάδας).

Από την εξέταση των στοιχείων αυτών, προκύπτει ότι μέχρι το 1971 ο πληθυσμός της περιοχής ακολουθεί τις έντονες αυξητικές τάσεις του συνόλου της Αττικής, σαν συνέπεια του αστύφιλου ρεύματος που δέχεται η περιοχή του Λεκανοπεδίου κατά την περίοδο αυτή. Έτσι, αυξάνεται σε επίπεδο νομαρχίας κατά 32,69% κατά την δεκαετία '61 - '71, έναντι 35,95% του συνόλου της Αττικής, με την περιοχή των Μεσογείων να συνεισφέρει σημαντικά στην αύξηση αυτή.

Κατά τις επόμενες δεκαετίες, ενώ το αστύφίλο ρεύμα προς την πρωτεύουσα κάμπτεται και εκμηδενίζεται μέχρι το τέλος της δεκαετίας του '80, αντίθετα λόγω εσωτερικών πληθυσμιακών μετακινήσεων στο Λεκανοπέδιο, ο πληθυσμός στην περιοχή

αυξάνεται με ακόμη εντονότερο ρυθμό. Στη δεκαετία '71 - '81, στη Νομαρχία Αν. Αττικής, παρατηρείται αύξηση κατά 54,40% έναντι 20,43% του συνόλου της Αττικής και στην δεκαετία '81 -'91 αύξηση κατά 52,16% έναντι μόνο 4,57% αντίστοιχα. Το φαινόμενο δηλαδή της μετακίνησης από τις κεντρικές περιοχές της Πρωτεύουσας προσλαμβάνει διαστάσεις φυγής .

Η εξέλιξη αυτή είναι αποτέλεσμα της σημαντικής και εντεινόμενης υποβάθμισης της κεντρικής και δυτικής περιοχής του Λεκανοπεδίου (νέφος, κυκλοφοριακό, έλλειψη πρασίνου κλπ.). Γενικά διαπιστώνεται έντονα η τάση οικιστικής και πληθυσμιακής επέκτασης στην περιοχή έρευνας. Σ' αυτό συντείνει και η υλοποίηση των μεγάλων συγκοινωνιακών έργων, καθώς και η άμεση ένταξη στον πολεοδομικό σχεδιασμό μεγάλων εκτάσεων παραθεριστικής κατοικίας. Έτσι η περιοχή θα εξακολουθήσει να συγκεντρώνει τις προτιμήσεις των κατοίκων του Λεκανοπεδίου που επιδιώκουν την αναβάθμιση της ποιότητας ζωής τους.

**Πίνακας 2.1:** Πληθυσμός δήμων της περιοχής έρευνας 1961-1991, (ΕΛ.ΣΤΑΤ.)

ΔΗΜΟΣ	1961	1971		1981		1991	
	πληθυσμός	πληθυσμός	%61-71	πληθυσμός	%71-81	πληθυσμός	%81-91
Αρτέμιδος				4.436		9.485	113,82
Γέρακα				6.726		8.512	26,55%
Γλυκών Νερών		1.232		3.406	176,46%	5.813	70,67%
Κρωπίας	8.029	9.708	20,91%	12.792	31,77%	16.813	31,43%
Μαρκόπουλου	5.341	5.952	11,44%	9.274	55,81%	10.449	12,67%
Παιανίας	7.431	11.828	59,17%	7.174	-39,35%	9.727	35,59%
Παλλήνης	1.909	3.184	66,79%	5.660	77,76%	10.908	92,72%
Πικερμίου		264		508	92,42%	1.293	154,53%
Ραφήνας	2.137	2.672	25,04%	5.405	102,28%	8.611	59,32%
Σπάτων	5.629	6.424	14,12%	6.593	2,63%	7.796	18,25%
Αν. Αττική	95.310	126.464	32,69%	195.261	54,40%	296.213	51,70%

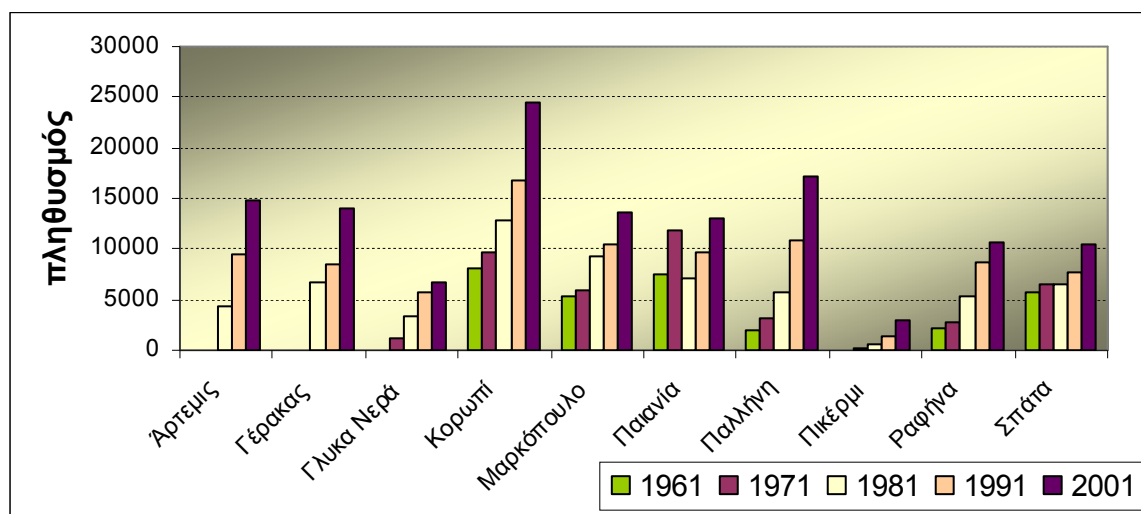
Τα διατιθέμενα στοιχεία της τελευταίας απογραφής από την Εθνική Στατιστική Αρχή (απογραφή 2001) φαίνονται στον πίνακα 2.2, συγκριτικά με την προηγούμενη απογραφή του 1991. Απ' τον πίνακα αυτόν διαπιστώνεται η δημογραφική έκρηξη, ιδιαίτερα στους δήμους Πικερμίου (αύξηση 126,68% στην δεκαετία 1991-2001), Γέρακα (64,36%), Παλλήνης (57,98%), Αρτέμιδος (55,18%) και Κρωπίας (45,44%).

**Πίνακας 2.2:** Πληθυσμός δήμων της περιοχής έρευνας (1991-2001), ΕΛ.ΣΤΑΤ. 2004

ΔΗΜΟΣ	1991		2001	
	πληθυσμός	%81-91	πληθυσμός	%91-01
Αρτέμιδος	9.485	113,82	14.719	55,18%
Γέρακα	8.512	26,55%	13.990	64,36%
Γλυκών Νερών	5.813	70,67%	6.623	13,93%
Κρωπίας	16.813	31,43%	24.453	45,44%
Μαρκόπουλου	10.449	12,67%	13.644	30,58%
Παιανίας	9.727	35,59%	12.997	33,62%
Παλλήνης	10.908	92,72%	17.232	57,98%
Πικερμίου	1.293	154,53%	2.931	126,68%
Ραφήνας	8.611	59,32%	10.701	24,27%
Σπάτων	7.796	18,25%	10.419	33,65%

Τα στοιχεία της τελευταίας απογραφής (σχήμα 2.3) μαρτυρούν την αυξητική τάση του πληθυσμού που υπάρχει στους δήμους, οι οποίοι γειτνιάζουν με το αεροδρόμιο και εξυπηρετούνται απ' τα μεγάλα συγκοινωνιακά έργα. Οι δήμοι Κορωπί, Παλλήνη, Γέρακας και Άρτεμις παρουσιάζουν μεγαλύτερο ποσοστό αύξησης του πληθυσμού συγκριτικά με την περασμένη δεκαετία. Γενικά όλοι οι δήμοι της περιοχής παρουσιάζουν σημαντική αύξηση του πληθυσμού τους. Πέραν των λόγων που έχουν προαναφερθεί, το αεροδρόμιο και τ' άλλα μεγάλα έργα δημιούργησαν νέες θέσεις εργασίας και προσέφεραν ικανοποιητικές συνθήκες διαβίωσης, που προσέλκυσαν σημαντικό αριθμό πληθυσμού στην περιοχή.

Σύμφωνα με έρευνα ομάδας επιστημόνων του Παντείου Πανεπιστημίου που εκπονήθηκε για λογαριασμό του Υπουργείου ΠΕΧΩΔΕ, προβλέπεται ότι τα Σπάτα θα εκτιναχθούν το 2020 στους 27.700 κατοίκους και το Κορωπί στους 28.400 ([www.asda.gr/elxoroi/Mesogeia.htm](http://www.asda.gr/elxoroi/Mesogeia.htm)).



Σχήμα 2.3: Διάγραμμα εξέλιξης του πληθυσμού της περιοχής απ' το 1961 έως το 2001

## 2.2 Χρήσεις γης

Οι χρήσεις γης στην περιοχή έρευνας εντοπίστηκαν με τη βοήθεια 42 αεροφωτογραφιών που ελήφθησαν το έτος 1997 έτσι όπως διορθώθηκαν γεωμετρικά με τη βοήθεια ψηφιακού υψομετρικού μοντέλου. Αν και στα χρόνια που έχουν περάσει έκτοτε άλλαξε αρκετά η περιοχή έρευνας, τα μεγάλα έργα (όπως ο Διεθνής Αερολιμένας Αθηνών κι η Αττική Οδός) ήταν υπό κατασκευή και είναι ευδιάκριτα στους χάρτες. Οι χρήσεις γης αποτυπώνονται στο χάρτη του σχήματος 2.4, έτσι όπως ψηφιοποιήθηκε με τη βοήθεια των ανωτέρω ορθοφωτοχάρτων και τη χρήση του προγράμματος Arcmap της ESRI.

### 2.2.1 Αστικές περιοχές

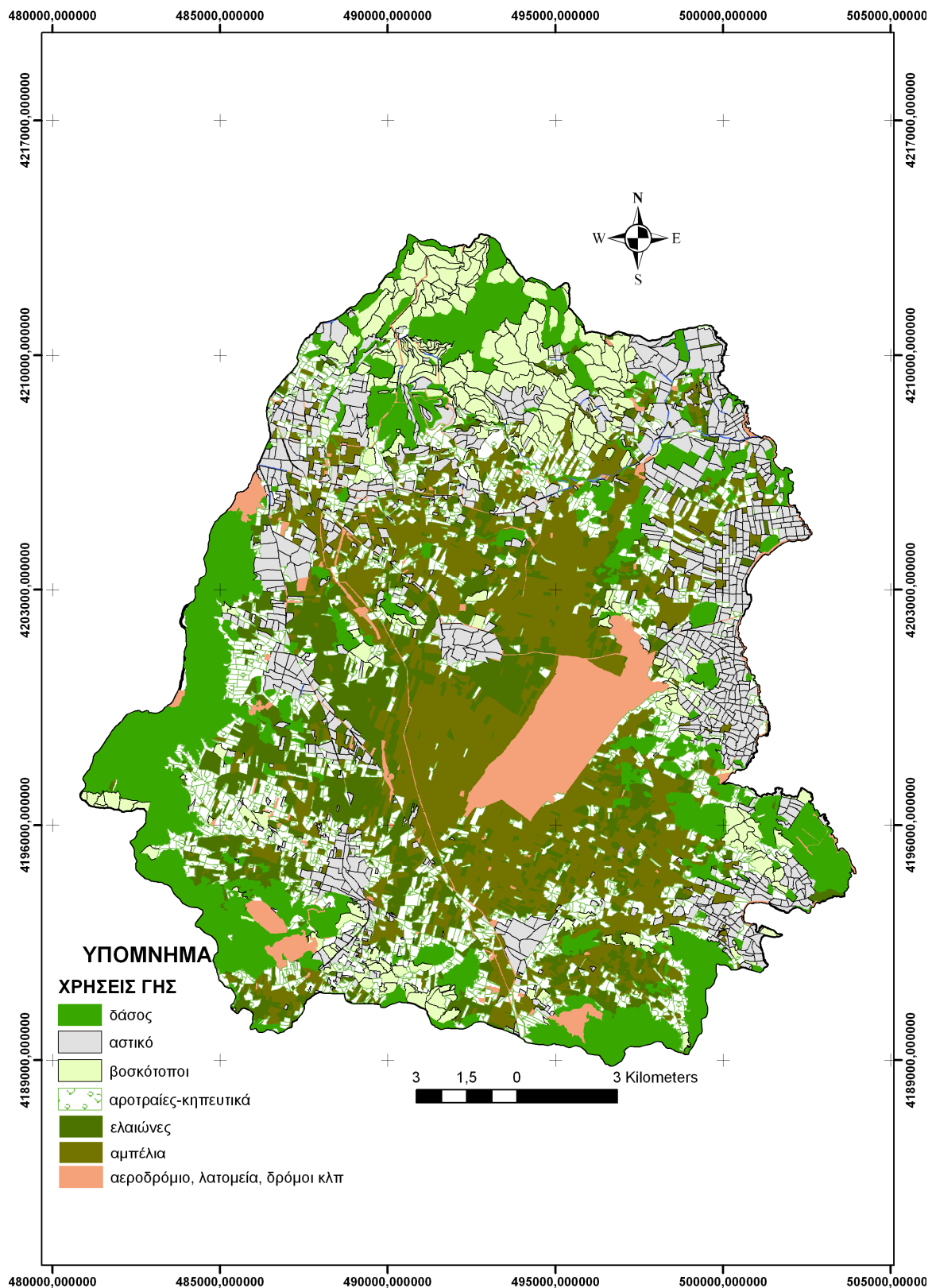
Οι αστικές περιοχές (σχήμα 2.4) καταλαμβάνουν έκταση περίπου 40 km<sup>2</sup> (40.000.000 στρέμματα). Οι περισσότεροι οικισμοί βρίσκονται γύρω απ' τις κεντρικές πόλεις Σπάτα, Άρτεμη, Παιανία, Κορωπί, Μαρκόπουλο, Γέρακα, Γλυκά Νερά, Πικέρμι, Ραφήνα και Παλλήνη. Στον κάμπο των Μεσογείων βρίσκονται μικροί αγροτικοί οικισμοί με αρκετά αραιή δόμηση και μερικές μικρές βιομηχανικές μονάδες.

Μετά την ολοκλήρωση των μεγάλων έργων στην περιοχή, οι εκτάσεις των αστικών περιοχών παρουσιάζουν αυξητική τάση ακολουθώντας τις αντίστοιχες αυξητικές τάσεις του πληθυσμού (κεφ. 2.1.1), κάτι που δεν γίνεται αντιληπτό απ' τον χάρτη του σχήματος 2.4 εφόσον δημιουργήθηκε από ορθοφωτοχάρτες που αποτύπωναν την κατάσταση των χρήσεων γης το έτος 1997, πολύ πριν ολοκληρωθούν τα μεγάλα έργα που προκάλεσαν τις



εν λόγω ανακατατάξεις.

Ο χάρτης χρήσεων γης (σχήμα 2.4) ψηφιοποιήθηκε με τη βοήθεια ορθοφωτοχαρτών στο πρόγραμμα ArcMap. Τα δάση κι οι καλλιέργειες με ελαιόδενδρα και αμπέλια είναι αρκετά ευδιάκριτες και καλύπτουν μεγάλο μέρος των γεωργικών εκτάσεων. Μεγάλο μέρος καλύπτουν κι οι αροτραίες καλλιέργειες και τα οπωροκηπευτικά



Σχήμα 2.4: Χάρτης χρήσεων γης της περιοχής έρευνας

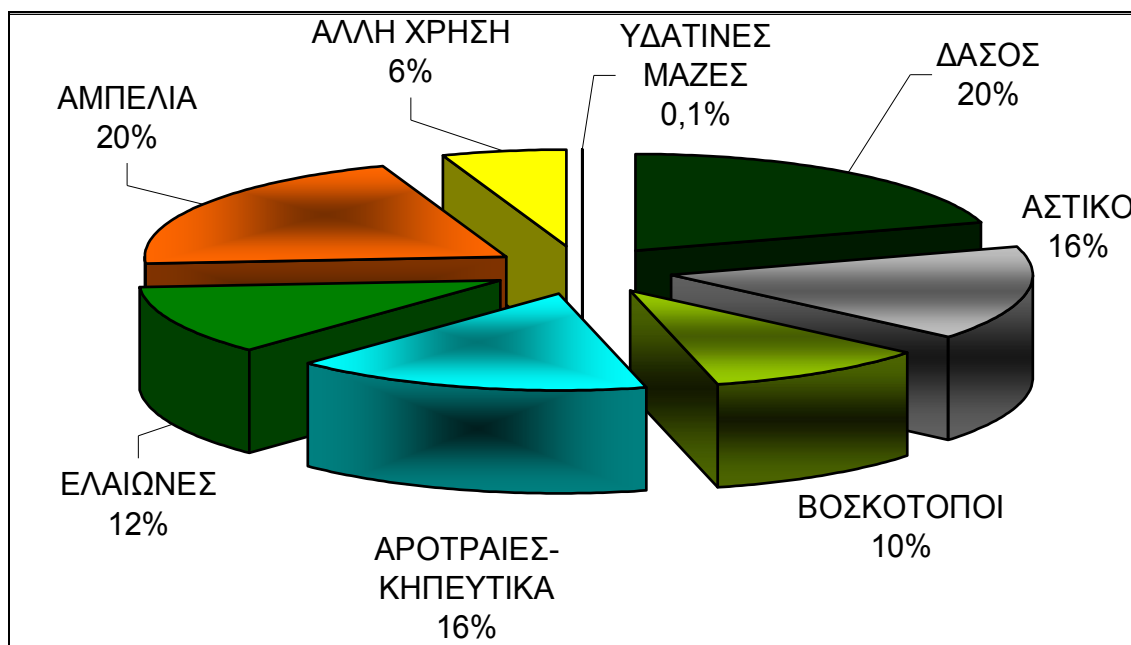
Με βάση την εμβαδομέτρηση των χρήσεων γης, η πλειοψηφία αυτών αποτελούν τα αμπέλια και τα δάση (20% έκαστο) κι ακολουθούν οι αροτραίες καλλιέργειες και το αστικό με 16%. Τα ποσοστά χρήσεων γης αποτυπώνονται στο σχήμα 2.5. Αν ο χάρτης χρήσεων γης προέκυπτε με βάση κάποιο πιο πρόσφατο ορθοφωτοχάρτη, τα ποσοστά των καλλιεργειών θα μειώνονταν προς όφελος του αστικού.

### 2.2.2 Δασικές περιοχές

Από την ψηφιοποίηση των ορθοφωτοχαρτών αλλά και τις επιτόπιες παρατηρήσεις, παρατηρήθηκαν στις δασικές εκτάσεις τα εξής δένδρα και θάμνοι:

- Pinus halepensis Χαλέπιος Πεύκη
- Olea oleaster Αγριελιά
- Platanus orientalis Πλάτανος
- Cupressus sempervirens Κυπαρίσσι
- Eucalyptus pauciflora Ευκάλυπτος
- Populus alba Ασημόλευκα
- Accacia Dealbata Ακακία
- Ceratonia siliqua Χαρουπιά
- Cercis siliquastrum Κουτσουπιά
- Pistacia vera Φιστικιά
- Laurus nobilis Δάφνη
- Nerium oleander Πικροδάφνη
- Origanum scabrum Ρίγανη
- Pistacia lentiscus Σχίνος
- Quercus coccifera Πουρνάρι
- Rosmarinus officinalis Δενδρολίβανο
- Spartium junceum Σπάρτο
- Thymus thracicus Θυμάρι

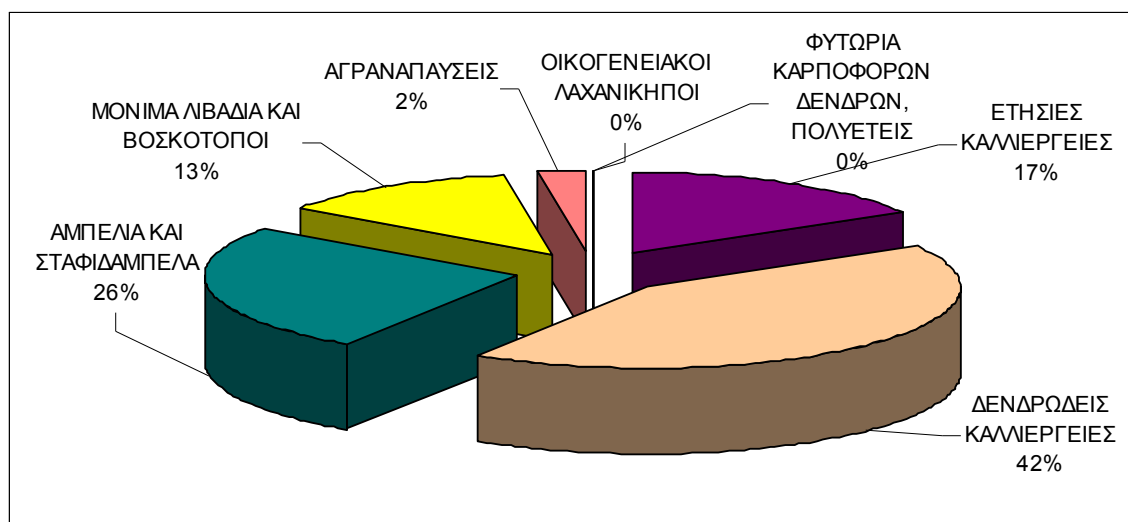
Από αυτά υπερέχουν σημαντικά σε αριθμό τα πεύκα (*Pinus halepensis*) και τα θαμνώδη φυτά.



Σχήμα 2.5: Διάγραμμα κατανομής των χρήσεων γης στην περιοχή

### 2.2.3 Γεωργία - Κτηνοτροφία

Τα πιο πρόσφατα στοιχεία σχετικά με τον πρωτογενή τομέα στην περιοχή έρευνας αφορούν τα έτη 1999-2000. Σύμφωνα με αυτά τα στοιχεία 259.058 στρέμματα αγροτικής γης και 21.400 στρ. κτηνοτροφικών εκμεταλλεύσεων συνθέτουν την εικόνα της γεωργίας και της κτηνοτροφίας αντίστοιχα, στην υπό έρευνα περιοχή. Σ' αυτά προστίθενται και 44.589 στρ. μικτών εκμεταλλεύσεων. Στη γεωργική χρήση γης υπερέχουν οι δενρώδεις καλλιέργειες (42,5%), η πλειοψηφία των οποίων αφορά τα ελαιόδενδρα κι ακολουθούν τα αμπέλια με ποσοστό 26%. Συγκρίνοντας τις τιμές αυτές με το χάρτη χρήσεων γης βασισμένο σε ορθοφω-τοχάρτες του 1997, παρατηρείται σημαντική μείωση των καλλιεργειών αμπέλου είτε προς όφελος της καλλιέργειας ελιάς, είτε προς αστική χρήση. Αν εξαιρέσουμε τις ετήσιες καλλιέργειες που αποτελούν το 17% της χρησιμοποιούμενης γεωργικής έκτασης, οι λοιπές γεωργικές δραστηριότητες δεν παρουσιάζουν αξιοσημείωτη συμμετοχή (Πίνακας I Παραρτήματος, Σχήμα 2.6).



Σχήμα 2.6: Κατανομή των εκτάσεων των διαφόρων καλλιεργειών στη περιοχή

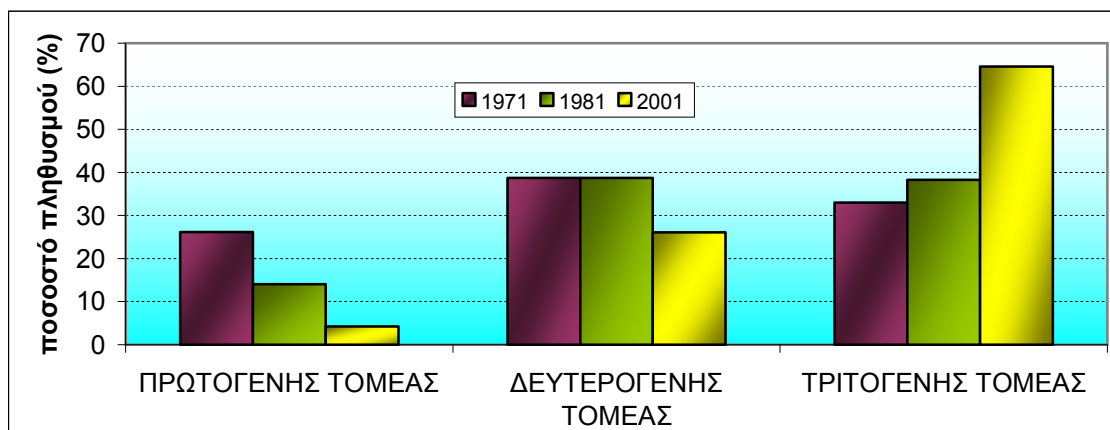
Στην κτηνοτροφία, η πλειονότητα των εκμεταλλεύσεων περιλαμβάνει εκτροφή αιγών και προβατοειδών, σε ποσοστά 36,57% και 28,19% αντίστοιχα, κι ακολουθούν οι κυψέλες και τα πουλερικά με ίδιο ποσοστό 12,95% (Πίνακας I Παραρτήματος). Όσον αφορά τη δυναμικότητα των εκμεταλλεύσεων της περιοχής, την πρώτη θέση κατέχουν τα ορνιθοτροφεία κι ακολουθούν τα ποιμνιοστάσια.

### 2.2.4 Κύριες ενασχολήσεις πληθυσμού

Απ' την εξέταση των στοιχείων που παρατίθενται στους πίνακες του παραρτήματος (II, III και IV) διαπιστώνεται ότι το μεγαλύτερο ποσοστό του Οικονομικά Ενεργού Πληθυσμού (ΟΕΠ) των δήμων της περιοχής έρευνας δραστηριοποιείται κατά τα έτη 1971-1981 στη βιομηχανία (δευτερογενής τομέας). Μέσα στη δεκαετία αυτή γίνεται εμφανής η μείωση των απασχολούμενων στη γεωργία και κτηνοτροφία (πρωτογενής τομέας) από 26% σε 14% και διακρίνεται μια στροφή προς το εμπόριο και τον τουρισμό (Πίνακας III Παραρτήματος, σχήμα 2.7).

Τα πιο πρόσφατα στοιχεία της απογραφής του 2001 (πίνακας IV Παραρτήματος) επιβεβαιώνουν τις προϋπάρχουσες τάσεις με τους απασχολούμενους στον τριτογενή τομέα να καλύπτουν πλέον το 65% του ΟΕΠ. Η τάση μείωσης του ποσοστού απασχόλησης στον πρωτογενή τομέα είναι πλέον ευδιάκριτη με μόλις το 5% του ΟΕΠ ν' απασχολείται στον κλάδο, ενώ σαφή μείωση συγκριτικά με τα προηγούμενα χρόνια παρουσιάζει κι η απασχόληση στη βιομηχανία, συνεχίζοντας ωστόσο να απασχολεί ένα

σημαντικό μέρος του ΟΕΠ (31%). Στο σχήμα 2.7 παρουσιάζονται τα ποσοστά του πληθυσμού που ασχολούνται στον πρωτογενή, δευτερογενή και τριτογενή τομέα στις απογραφές των ετών 1971, 1981 και 2001. Από το διάγραμμα αυτό είναι εμφανής η στροφή προς τον τριτογενή τομέα την τελευταία δεκαετία ενώ τη δεκαετία του 1970 επικρατούσε με μεγάλο ποσοστό ο πρωτογενής τομέας. Η βιομηχανία (δευτερογενής τομέας) παρουσιάζει ελαφρά μείωση στην τελευταία απογραφή.



Σχήμα 2.7: Διαχρονική εξέλιξη της απασχόλησης του πληθυσμού στους διάφορους τομείς

### 2.2.5 Επιχειρήσεις περιοχής

Το πιο πρόσφατο μητρώο επιχειρήσεων της Ανατολικής Αττικής αφορά το έτος 1995, ωστόσο είναι ενδεικτικό της αυξητικής τάσης του τριτογενή τομέα. Απ' τις επιχειρήσεις δίνεται έμφαση σε αυτές που επηρεάζουν άμεσα ή έμμεσα το περιβάλλον και τους υδατικούς κι εδαφικούς πόρους. Αυτές είναι τα λατομεία και οι βιομηχανίες παραγωγής φαρμάκων, παραγωγής βιομηχανικών αερίων, κατασκευής πλαστικών κλπ. Στον πίνακα 2.3 φαίνεται ο αριθμός αυτών των βιομηχανιών σε κάθε δήμο της περιοχής έρευνας. Ο δήμος με τις περισσότερες βιομηχανίες είναι ο Δήμος Παλλήνης κι ακολουθεί ο δήμος Κρωπίας. Τα λατομεία εμφανίζονται στους δήμους του Δυτικού τμήματος, λόγω της ύπαρξης μεταλλοφορίας (Κατσιαβριάς, 2007).

Πίνακας 2.3: Αριθμός βιομηχανιών και λατομείων ανά δήμο της περιοχής (ΕΛ.ΣΤΑΤ. 2001)

ΔΗΜΟΣ	Βιομηχανίες	Λατομεία
Αρτέμιδος	1	0
Γλυκών Νερών & Γέρακα	65	0
Κρωπίας	86	5
Μαρκοπούλου	33	2
Παιανίας	74	1
Παλλήνης	150	0
Πικερμίου	29	0
Ραφήνας	11	0
Σπάτων	19	0

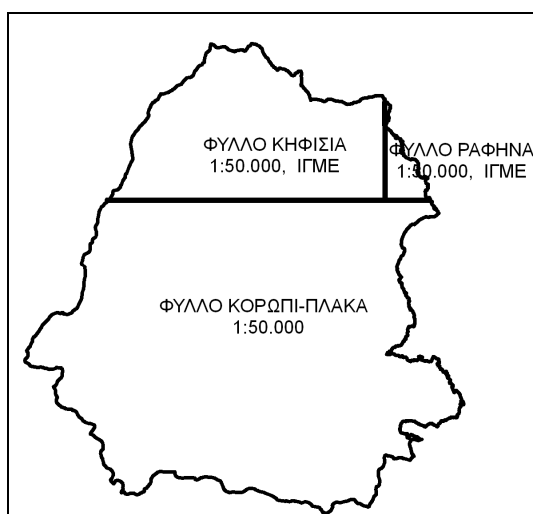


### 3. ΓΕΩΛΟΓΙΑ

#### 3.1 Γεωλογικοί σχηματισμοί

Η ανάλυση του γεωλογικού υποβάθρου της περιοχής στηρίχθηκε στον γεωλογικό χάρτη του Ι.Γ.Μ.Ε., φύλλο Κορωπί-Πλάκα κλίμακας 1:50.000 (Κατσιαβριάς, 2007) και τα φύλλα Κηφισιά (Κατσιακάτσος, 1997 - ΙΓΜΕ) και Ραφήνα (Κατσιακάτσος, 1977 - ΙΓΜΕ). Επίσης χρησιμοποιήθηκε ο γεωλογικός χάρτης του Lepsius, ο οποίος χαρτογράφησε για πρώτη φορά τη γεωλογία της Αττικής σε κλίμακα 1:25.000. Το έργο του Lepsius μεταφράστηκε απ' τον Βουγιούκα (1906) και ο γεωλογικός χάρτης εκδόθηκε σε κλίμακα 1:100.000.

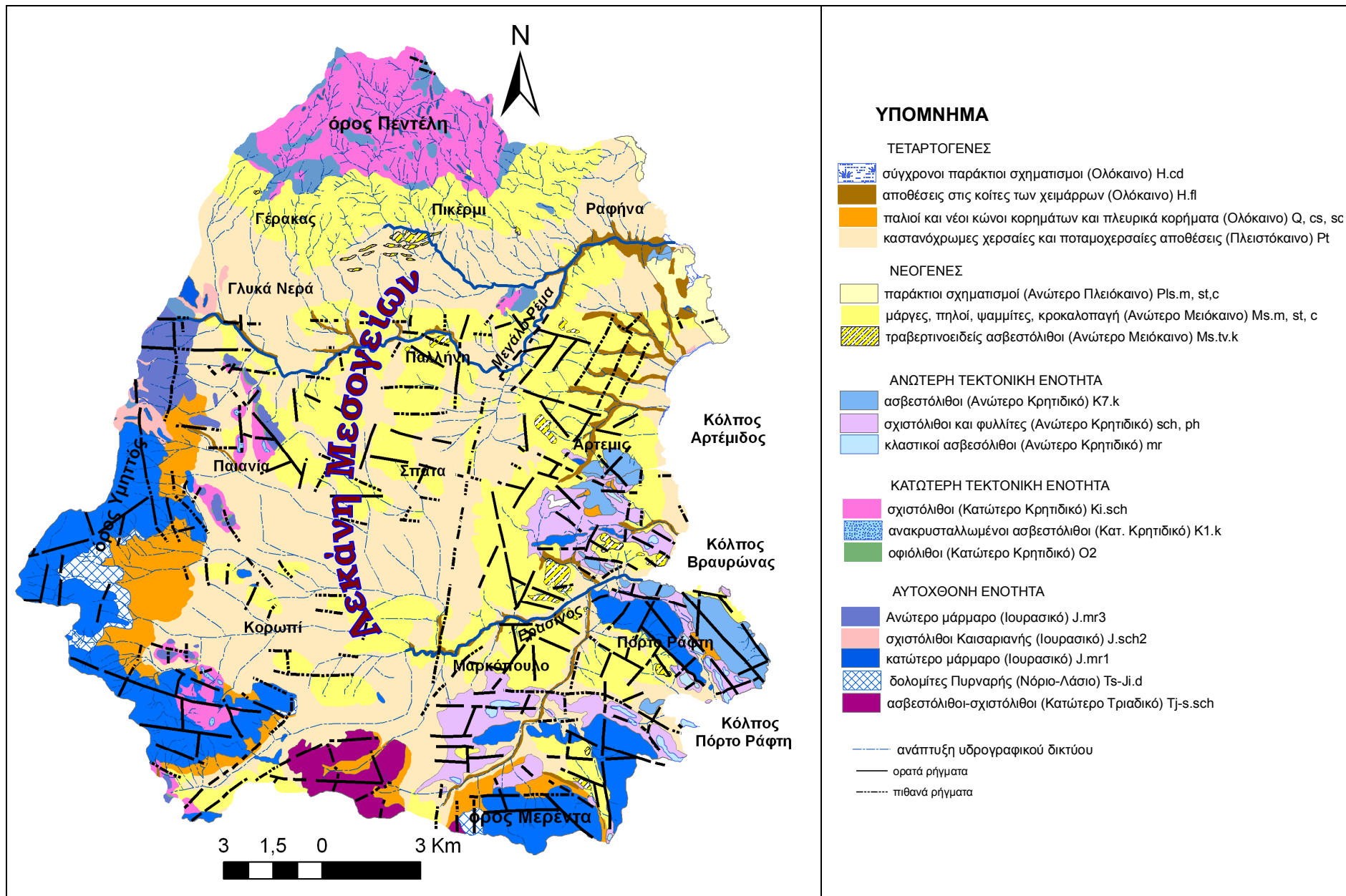
Η περιοχή έρευνας ψηφιοποιήθηκε με τη βοήθεια του προγράμματος Arcmap (ESRI) χρησιμοποιώντας τα φύλλα χάρτου που προαναφέρθηκαν (σχ. 3.1). Στο σχήμα 3.2 παρουσιάζεται ο γεωλογικός χάρτης της περιοχής έρευνας.



**Σχήμα 3.1:** Φύλλα γεωλογικών χαρτών που χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία του γεωλογικού χάρτη της περιοχής έρευνας σε περιβάλλον ArcGIS.

Η περιοχή έρευνας από γεωτεκτονικής άποψης αποτελεί τμήμα της Αττικοκυκλαδικής μάζας (Μουντράκης, 1985). Η περιοχή της Αττικής αποτελεί μία ξεχωριστή ενότητα η οποία περιλαμβάνει το χώρο του Υμηττού, του Πεντελικού, της Λαυρεωτικής και του Αλμυροπόταμου της Νότιας Εύβοιας. Η ενότητα αυτή περιλαμβάνει έναν κατώτερο ορίζοντα μαρμάρων που αποτελείται από μάρμαρα και δολομίτες ηλικίας Άνω Τριαδικού-Κάτω Ιουρασικού, έναν ενδιάμεσο ορίζοντα από μαρμαρυγικούς και αμφιβολιτικούς σχιστόλιθους, ενστρώσεις μαρμάρων και βασικά-υπερβασικά μεταμορφωμένα πετρώματα του Άνω Κρητιδικού.

Ο κατώτερος ορίζοντας αποτελεί την αυτόχθονη ενότητα αποτελούμενη από το κατώτερο μάρμαρο σημαντικού πάχους με ενστρώσεις σχιστόλιθων. Επάνω στην αυτόχθονη ενότητα έχουν επωθηθεί οι σχηματισμοί του Άνω Κρητιδικού καλύμματος. Αυτοί αποτελούνται από ασβεστόλιθους, σχιστόλιθους, οφιόλιθους και φυλλίτες. Διακρίνονται μία κατώτερη τεκτονική ενότητα Κάτω Κρητιδικού έως Άνω Κρητιδικού και μία ανώτερη τεκτονική ενότητα που αποτελείται κυρίως από ασβεστόλιθους με ενδιαστρώσεις σχιστόλιθων. Οι σχηματισμοί αυτοί του γεωλογικού υποβάθρου καλύπτονται σε μεγάλη έκταση από μετααλπικούς σχηματισμούς του νεογενούς και τεταρτογενούς.



Σχήμα 3.2: Γεωλογικός χάρτης της περιοχής έρευνας (ψηφιοποίηση των Φύλλων Κορωπί-Πλάκα (Κατσιαβριάς, 2007), Κηφισιά (Κατσιακάτσος, 1997 - ΙΓΜΕ) και Ραφήνα (Κατσιακάτσος, 1977 - ΙΓΜΕ) κλίμακας 1:50.000.



Σύμφωνα με τον Lepsius (1893) τα διάφορα γεωλογικά στρώματα της Αττικής διαιρούνται σε τρία συστήματα:

α) στο σύστημα των κρυσταλλοπαγών σχιστόλιθων και μαρμάρων που αποτελούν παντού το υπόβαθρο και τον πυρήνα των ορέων και διαιρούνται στις εξής βαθμίδες:

- Δολομιτικοί και ασβεστολιθικοί σχιστόλιθοι πάχους περίπου 200 m.
- Κατώτερο Αττικό μάρμαρο πάχους περίπου 500 m
- Μαρμαρυγιακοί σχιστόλιθοι Καισαριανής πάχους περίπου 250 m. και
- Ανώτερο Αττικό μάρμαρο με πάχος περίπου 250 m.

β) στο σύστημα των ασβεστόλιθων, σχιστόλιθων και ψαμμιτών Κρητιδικής ηλικίας, αποτελούμενο από

- την Κατώτερη ασβεστολιθική βαθμίδα πάχους περίπου 100m και
- τους Αθηναϊκούς σχιστόλιθους πάχους περίπου 200m και

γ) στο σύστημα των Τριτογενών και Τεταρτογενών επιστρώσεων πάνω στα οποία υπάρχουν αλλουβιακές και διλουβιακές αποθέσεις και έκχυτα πετρώματα.

Σύμφωνα με την πρόσφατη γεωλογική χαρτογράφηση του Ι.Γ.Μ.Ε. (Κατσιαβριάς κ.αλ. 1992) οι γεωλογικοί σχηματισμοί που αναπτύσσονται στην περιοχή έρευνας ανήκουν στις παρακάτω ενότητες:

### **3.1.1. Αυτόχθονη ενότητα**

α) *ασβεστόλιθοι και σχιστόλιθοι πάχους περίπου 250m ηλικίας Κατώτερο Τριαδικό*

Απαντώνται δυτικά του Μαρκόπουλου κι είναι πολύχρωμοι, πλακώδεις, ανακρυσταλλωμένοι και εν μέρει δολομιτωμένοι, εναλλασσόμενοι με μαρμαρυγιακούς, χλωριτικούς και ασβεστιτικούς σχιστόλιθους. Κατά θέσεις, και σε διάφορους στρωματογραφικούς ορίζοντες, απαντώνται μικρές παρεμβολές πρασινόχρωμων πυροκλαστικών υλικών.

β) *δολομίτες Πυρναρής πάχους έως 100m (Νόριο-Λιάσιο)*

Πρόκειται για δολομίτες υπόλευκους έως τεφρόλευκους και σε διάφορες θέσεις κιτρινωποί, ερυθρωποί, τεφροί και τεφρόμαυροι. Εμφανίζονται μεσο-χονδροκοκκώδεις, εν μέρει λατυποπαγείς, έντονα ανακρυσταλλωμένοι, μεσο-παχυστρωματώδεις, κατά κανόνα άστρωτοι (Κατσιαβριάς, 2007).

γ) *κατώτερο μάρμαρο πάχους περίπου 400 m (Ιουρασικό)*

Πρόκειται για λευκά ως τεφρόλευκα, υποκίτρινα ως ερυθρωπά, τεφροπράσινα έως κυανά, μέσο- έως αδροκρυσταλλικά μάρμαρα. Στη βάση τους είναι κατά θέσεις λατυποπαγή. Συνήθως είναι μέσο- έως παχυστρωματώδη, σπανιότερα άστρωτα και καρστικά, ενώ προς την κορυφή τους γίνονται λεπτό- έως μεσοπλακώδη. Στην περιοχή απαντώνται δυτικά του Κορωπίου που δομούν τις παρυφές του Υμηττού και ανατολικά κοντά στον όρμο του Πόρτο Ράφτη που δομούν τις ορεινές μάζες Μερέντα και Πυργάρι.

δ) *σχιστόλιθοι Καισαριανής πάχους έως 250 m (Ιουρασικό)*

Απαντώνται σε μικρή εμφάνιση δυτικά των Γλυκών Νερών και πρόκειται για μαρμαρυγιακούς, ασβεστιτικούς, γραφιτικούς και χλωριτικούς σχιστόλιθους. Σύμφωνα με τους Κατσιαβριάς κ.α. (2007) το συνολικό πάχος αυτής της σειράς ανέρχεται στα 800μ.

ε) *ανώτερο μάρμαρο πάχους έως 200m (Ιουρασικό)*

Εμφανίζεται στο Βορειοδυτικό τμήμα της περιοχής δυτικά του Γέρακα. Πρόκειται για τεφρόλευκα έως τεφρά, ελαφρά ερυθρίζοντα, κρυσταλλικά ως ζαχαρώδη μάρμαρα που μεταπίπτουν κανονικά προς τα κάτω σε σχιστόλιθους.



### **3.1.2 Κατώτερη Τεκτονική Ενότητα**

#### *α) οφιόλιθοι (Κατώτερο Κρητιδικό)*

Απαντώνται σε περιορισμένες εμφανίσεις στο νοτιοδυτικό τμήμα της περιοχής και κοντά στην Παιανία. Είναι ακανόνιστα και συνήθως έντονα τεκτονισμένα σώματα βασικών και υπερβασικών πετρωμάτων, κυρίως σερπεντινιτών, στη βάση των ασβεστόλιθων και μέσα σε τεκτονισμένους σχιστόλιθους.

#### *β) σχιστόλιθοι πάχους περίπου 50m με παρεμβολές ανακρυσταλλωμένων ασβεστόλιθων πάχους περίπου 1-15m (Κατώτερο Κρητιδικό)*

Οι σχιστόλιθοι εμφανίζονται δυτικά του Κορωπίου και σε διάσπαρτες μικρές εμφανίσεις νότια της Παιανίας. Είναι τεφροί ως τεφρόμαυροι, φαιοί, μαρμαρυγικοί και ασβεστιτικοί σχιστόλιθοι. Στα κατώτερα μέλη τους απαντούν ασβεστιτικοί λεπτοστρωματώδεις ψαμμίτες και χαλαζίτες. Οι ασβεστόλιθοι που παρεμβάλλονται είναι έντονα ανακρυσταλλωμένοι, τεφρόλευκοι, κλαστικοί και πλακώδεις.

#### *γ) ασβεστόλιθοι (Ανώτερο Κρητιδικό)*

Απαντώνται κυρίως στο δυτικό τμήμα της περιοχής έρευνας. Στα ανώτερα μέλη τους είναι πολύχρωμοι, ανακρυσταλλωμένοι, πλακώδεις με πυριτόλιθους. Στα μεσαία μέλη τους είναι λευκοί έως τεφροί, κιτρινόχρωμοι ως καστανόχρωμοι, κρυπτοκρυσταλλικοί ή κρυσταλλικοί, λεπτο-μεσο-παχυστρωματώδεις έως άστρωτοι, καρστικοί, δολομιτωμένοι. Είναι έντονα διερρηγμένοι, διασχίζονται από πυκνό και χαώδες δίκτυο φλεβιδίων δευτερογενούς ασβεστίτη εμποτισμένων με οξείδια του σιδήρου. Τα κατώτερα μέλη τους αποτελούν κιτρινόχρωμοι, μαργαίκοι λεπτοστρωματώδεις ασβεστόλιθοι και κιτρινόχρωμες λεπτομερείς ή μικρολατυποπαγείς σκληρές σχιστοποιημένες ασβεστιτικές μάργες. Στη βάση των κρητιδικών ασβεστόλιθων εντοπίζονται κατά τόπους διάφορα οξείδια, κυρίως Fe, τα οποία έχουν προκύψει από την διάβρωση των ασβεστόλιθων, καθώς επίσης μικρές εμφανίσεις μεικτών θειούχων ορυκτών, τα οποία έχουν προκύψει προφανώς από την εξαλλοίωση των υπερβασικών πετρωμάτων. Εδαφοχημική έρευνα που πραγματοποιήθηκε στην περιοχή μεταξύ Κορωπίου και Βάρης έδειξε ότι η διάβρωση των μικρών οφιολιθικών σωμάτων της περιοχής έχουν εμπλουτίσει τα εδάφη σε διάφορα μέταλλα, όπως Ni, Co, Cr κάλ. (Serelis et al., 2010).

### **3.1.3 Ανώτερη τεκτονική ενότητα**

#### *α) σχιστόλιθοι και φυλλίτες πάχους 200m με ενστρώσεις κλαστικών ασβεστολίθων πάχους 5-50m*

Απαντώνται στο Ανατολικό και νότιο τμήμα της περιοχής. Είναι τεφροί ως τεφρόμαυροι, πρασινωποί και χλωριτικοί με διαστρώσεις χαλαζιακών σχιστολίθων και χαλαζιτών καθώς και φακοειδείς ενστρώσεις τεφρών λεπτοστρωματωδών, κρυσταλλικών εν μέρει κλαστικών ασβεστόλιθων. Σποραδικά απαντούν μικρά σώματα μεταμορφωμένων βασικών πετρωμάτων.

#### *β) ασβεστόλιθοι πάχους 200m περίπου (Ανώτερη Τεκτονική Ενότητα)*

Εμφανίζονται κυρίως στο ανατολικό τμήμα της περιοχής, στα υψώματα μεταξύ Βραυρώνας και Πόρτο Ράφτη καθώς και στους λόφους δυτικά της Άρτεμης. Πρόκειται για πλακώδεις, υπόλευκους ως τεφρόλευκους, κατά θέσεις ερυθρίζοντες, ανακρυσταλλωμένους ασβεστόλιθους με διαστρώσεις πυριτόλιθων. Στα κατώτερα κι εν μέρει και στα ανώτερα μέλη, οι ασβεστόλιθοι είναι αδροκρυσταλλικοί, κλαστικοί, εναλλασσόμενοι με ασβεστιτικούς και μαρμαρυγικούς σχιστόλιθους.

### **3.1.4 Τριτογενές Σύστημα**

#### *α) μάργες, πηλοί, ψαμμίτες και κροκαλοπαγή ολικού πάχους 150 m με παρεμβολές από τραβερτινοειδείς ασβεστόλιθους (Ανώτερο Μειόκαινο)*

Τα νεογενή στην περιοχή έρευνας είναι του Ανώτερου Μειόκαινου. Αποτελούνται

από μάργες, πηλούς, ψαμμίτες και κροκαλοπαγή. Καταλαμβάνουν μεγάλο τμήμα της περιοχής έρευνας. Οι σχηματισμοί αυτοί αφορούν εναλασόμενες αποθέσεις από ψαμμίτες, μάργες, πηλούς και κροκαλοπαγή, λιμναίας φάσης, κατά κανόνα στρωμένες, μέτριας συνεκτικότητας, με παρεμβολές από ερυθροχώματα και τραβερτινοειδείς ασβεστόλιθους. Στις παρυφές των λιμναίων αυτών αποθέσεων απαντούν σημαντικού πάχους πολύμεικτα, ετερομετρικά κροκαλοπαγή. Το πάχος των σχηματισμών αυτών κυμαίνεται κατά θέσεις από 30 έως 80m.

*β) θαλάσσιοι-παράκτιοι σχηματισμοί (Ανώτερο Πλειόκαινο)*

Απαντώνται σε μια μικρή παράκτια περιοχή νότια της Ραφήνας αποτελούμενοι από ψαμμούχες μάργες, ψαμμίτες, κροκαλολατυποπαγή καθώς και τεφρόλευκους, άστρωτους, κλαστικούς τραβερτινοειδείς ασβεστόλιθους.

Σύμφωνα με τον Lepsius (1893) διακρίνονται δύο Τριτογενείς βαθμίδες:

α) μια αρχαιότερη (Παλαιογενές) λιμναίας φάσης της εποχής του Μειόκαινου έως κατώτερου Πλειόκαινου, πάχους 200m, αποτελούμενη από ασβεστόλιθους, μάργες, ψαμμίτες και κροκαλοπαγή, πετρώματα που υφίστανται εύκολα αποσάθρωση και διάβρωση δίνοντας τη δυνατότητα ανάπτυξης φυτείας πάνω σ' αυτά. Πάνω απ' τα κροκαλοπαγή εμφανίζονται χονδρόκοκκοι έως λεπτόκοκκοι ψαμμίτες, οι οποίοι είναι ως επί το πλείστον τεφρώς υποκίτρινοι ή υποπράσινοι και σπανιότερα κόκκινοι. Κύρια χαρακτηριστικά τους είναι οι μικροί πράσινοι κόκκοι που διασπείρονται κυρίως στους τεφρούς υποκίτρινους ψαμμίτες. Οι ψαμμίτες είναι εύθρυπτοι και σχηματίζουν ομαλούς λοφίσκους στην περιοχή του Κορωπίου, εναλλάσσονται με τα κροκαλοπαγή κι οι στρώσεις τους σχηματίζουν λεπτές στιβάδες σε αντίθεση με τα κροκαλοπαγή που σχηματίζουν παχιές τράπεζες. Οι χαλαζιακοί κόκκοι των ψαμμιτών συχνά συνδέονται με ασβεστολιθικό τσιμέντο.

β) μια νεότερη (Νεογενές) ποταμοχερσαίας φάσης του Πλειόκαινου, πάχους 150m αποτελούμενη από ερυθρές μάργες, ψαμμίτες και κροκαλοπαγή. Το κυρίως εμφανιζόμενο υλικό είναι το κροκαλοπαγές ενώ το δεύτερο ουσιαδές υλικό είναι ο ερυθρός πηλός (ή μαργώδης λεπτόκοκκος ή χονδρόκοκκος άμμος) ο οποίος αποσθρώνεται σε ερυθροκίτρινη ή ανοιχτοκάστανη εύφορη γη, που καλύπτει το μεγαλύτερο τμήμα της πεδιάδας των Μεσογείων. Το κροκαλοπαγές αποτελείται από γωνιώδη και λίγο στρογγυλεμένα τεμαχίδια μαρμάρου, τεμαχίδια μαρμαρυγιακού σχιστόλιθου και γωνιώδη ή λίγο στρογγυλεμένα τεμάχια χαλαζία κολλημένα ισχυρά με λατυποπαγή ή κροκαλοπαγή ψάμμο ή ψαμμιτική μάργα. Οι κροκαλοπαγείς τράπεζες ενίοτε καθίστανται εξαιρετικά σκληρές, λόγω πλεονάζοντος ασβεστολιθικού τσιμέντου και βρίσκονται μεταξύ μαλακότερων στρωμάτων ευκολότερα αποσθρωμένων ή ήδη αποπλυθέντων απ' τα διάφορα ρεύματα (φαράγγια, χαράδρες, κοίτες ποταμών κλπ). Τα Πικερμικά στρώματα καταστρώθηκαν σε αβαθείς θάλασσες κι οι μεγαλύτερες μάζες των κροκάλων στα οποία σύγκεινται τα λατυποπαγή και κροκαλοπαγή κύλησαν (όπως γίνεται και σήμερα) μέσα απ' τις χαράδρες των νησιών τότε, βουνών σήμερα, Πεντέλη, Πάρνηθα κι Υμηττό, αποκόπηκαν λόγω ραγδαίων βροχοπτώσεων ή άλλων γεωλογικών αιτιών και ωθούνταν προς τα κάτω καταθρυμματιζόμενα πάνω στα κλιτύα, στα περίχωρα της θάλασσας (Lepsius 1893, Χαραλαμπίκης 1952).

### **3.1.5 Τεταρτογενές Σύστημα**

*α) καστανόχρωμες χερσαίες και ποταμοχερσαίες αποθέσεις πάχους 20-25m (Πλειστόκαινο)*

Απαντώνται σε όλη τη μελετώμενη περιοχή, καλύπτοντας το μεγαλύτερο ποσοστό των γεωλογικών σχηματισμών. Συνίστανται από συνεκτικούς αργιλοπηλούς, ποικίλης λιθολογικής σύστασης, με διάσπαρτες κροκάλες και λατύπες προερχόμενες κυρίως απ' την αποσάθρωση των νεογενών σχηματισμών και συνεκτικά κροκαλολατυποπαγή

(Γεωλογικός χάρτης ΙΓΜΕ).

*β) παλαιοί και νέοι κώνοι κορημάτων και πλευρικά κορήματα (Τεταρτογενές Αδιαίρετο)*

Απαντώνται σε μεγάλες περιοχές στα πρηνή του Υμηττού, στις κλιτείς των υψωμάτων σε όλο το νότιο τμήμα και στο Ανατολικό τμήμα.

*γ) Αποθέσεις στις κοίτες των χειμάρρων (Ολόκαινο)*

Πρόκειται για πρόσφατα ασύνδετα υλικά, αργιλοαμμώδη υλικά με κροκάλες και λατύπες ποικίλης σύστασης, σχήματος και μεγέθους. Είναι υλικά χειμαρρωδών αναβαθμίδων μικρού ύψους. Απαντώνται γύρω απ' τα ποτάμια μόνιμης ροής «Μεγάλο Ρέμα» κι «Ερασίνο» καθώς και γύρω από άλλα υδατορέματα μη μόνιμης ροής.

*δ) σύγχρονοι παράκτιοι σχηματισμοί (Ολόκαινο)*

Πρόκειται για άμμους ακτών και μικρές θίνες που απαντώνται σε μικρές λωρίδες στο βόρειο τμήμα του όρμου Αρτέμιδος (Γεωλογικός χάρτης ΙΓΜΕ). Σύμφωνα με τον Lersius (1893) οι Τεταρτογενείς σχηματισμοί και αποθέσεις ποταμοχερσαίας φάσης παρουσιάζουν ποικίλη σύσταση και πάχος. Διακρίνονται σε Διλουβιακούς σχηματισμούς, σε παλαιά και νέα κορήματα και κώνους κορημάτων τα οποία είναι ημισυνεκτικά (τοπικά ασύνδετα) κομμάτια ποικίλου μεγέθους, κυρίως ασβεστολιθικά και λιγότερο μαργαϊκά ή ψαμμιτικά και σε αλλουβιακές αποθέσεις. Στην περιοχή έρευνας, καστανόχρωμες πηλώδεις προσχώσεις απαντώνται στο τέλος της Πικερμικής κοιλάδας, στην κοιλάδα της Βραυρώνας και στα βυθίσματα γύρω απ' το Πόρτο-Ράφτη.

### **3.2 Τεκτονική δομή**

Η περιοχή έρευνας υπάγεται γεωτεκτονικά στη Αττικοκυκλαδική μάζα. Πάνω στη σχετικά αυτόχθονη κατώτερη ενότητα της Αττικής βρίσκονται οι τεκτονικές ενότητες Αλμυροποτάμου και Λαυρίου.

Προς το τέλος του άνω Κρητιδικού, αρχίζουν οι νεοαλπικές ορογενετικές κινήσεις, μέσω των οποίων πτυχώνονται οι παλαιοζωικοί και μεσοζωικοί σχηματισμοί, με αποτέλεσμα οι βαρίσκιες και παλαιοαλπικές δομές να μετατοπιστούν. Στη διάρκεια των νεοαλπικών κινήσεων, λόγω των σταδιακών πλευρικών πιέσεων οι εσωτερικές ζώνες προερχόμενες από ΒΑ αναδύονται και τροφοδοτούν τις εξωτερικές ζώνες με κλαστικά ιζήματα δημιουργώντας το φλύσχη, σε ζωνοειδή διάταξη. Οι πτυχές και η ορογεωγραφία που δημιουργήθηκε με την παραπάνω ορογενετική κίνηση είναι ΒΔ-ΝΑ/κής διεύθυνσης.

Κατά τη διάρκεια απόθεσης του φλύσχη, μια νεότερη ορογενετική πλευρική πίεση, προερχόμενη από ΝΑ (αραβοαφρικανική πλάκα), σχεδόν κάθετη στην προγενέστερη, δημιουργεί οροσειρές και πτυχές με ΒΑ-ΝΔ/κής διεύθυνση. Η διαμόρφωση της μορφολογίας των νέων οροσειρών διακόπτει τη περαιτέρω εξέλιξη των ΒΑ συμπιεστικών τάσεων καθώς και την απόθεση των ιζημάτων του φλύσχη.

Οι νεότερες συμπιεστικές τάσεις πάνω στην ήδη διαμορφωμένη ορογεωγραφία εκτονώνονται με πτυχές, επωθήσεις ή εφιππεύσεις και με μεταμόρφωση της Αττικοκυκλαδικής μάζας (Παπαδέας, 1991). Μια σειρά από παράλληλα μεγάλα σύγκλινα και αντίκλινα των ΒΑ-ΝΔ πτυχών χαρακτηρίζει την περιοχή των μεταμορφωμένων και μη μεταμορφωμένων πετρωμάτων της Αττικής.

Η κάθετη φορά κίνησης πάνω στην ήδη ΒΔ-ΝΑκής διεύθυνσης διαμορφωμένη ορομορφολογία δημιουργεί έντονο κατακερματισμό στα ανώτερα μεσοζωικά ιζήματα, με συνέπεια τη μαζική αποσάθρωση κυρίως των αντικλίνων και τη δημιουργία εκτεταμένων πεδίων με αδρομερή υλικά (κροκαλοπαγή), ενώ αντίθετα τα σύγκλινα παρέμειναν σχεδόν ανεπηρέαστα.

Οι ΒΑ-ΝΔκής και ΝΑ-ΒΔκής διεύθυνσης συμπιεστικές τάσεις εκτονώνονται στη συνέχειά τους στην ευρύτερη περιοχή με έναν παρατεταμένης διάρκειας και διάφορου προσανατολισμού ρηγματογενή τεκτονισμό (Παπαδέας, 1991). Επιμήκη και εγκάρσια

ρήγματα και διακλάσεις ΒΔ-ΝΑκής και ΒΑ-ΝΔκής διεύθυνσης προερχόμενα και από τις δύο συμπίεστικές τάσεις διαπερνούν τους γεωλογικούς σχηματισμούς σε ολόκληρο τον ελλαδικό χώρο.

Οι ΝΑ συμπίεστικές τάσεις, που προκαλούνται από την αριστερόστροφη κίνηση, με παράλληλη ενεργοποίηση και του ρήγματος της Ανατολίας, (συνισταμένη των δύο πλευρικών πιέσεων), είναι η κύρια αιτία των εφελκυστικών κινήσεων (χαλαρώσεων). Οι κινήσεις των πλακών δημιουργούν διαδοχικά τεκτονικά κέρατα και τάφρους, συνέπεια των οποίων είναι και η δημιουργία του Αιγαίου Πελάγους (Παπαδέας, 2002).

Κατά τη διάρκεια του νεογενούς, διαδοχικές γενέσεις ρηγμάτων αποκόλλησης, προκάλεσαν την εκταφή των μεταμορφωμένων πετρωμάτων της Αττικής και την πλήρωση των λεκανών με ιζήματα. Το ρήγμα αποκόλλησης των Μεσογείων διαχωρίζει τα μεταμορφωμένα πετρώματα του Πεντελικού όρους από τα άνω μειοκαινικά – μεταμειοκαινικά ιζήματα της λεκάνης Μεσογείων. Το ρήγμα αυτό ήταν ενεργό μετά το Άνω Μειόκαινο συντελώντας στον ταχύ σχηματισμό του αναγλύφου και τη διάβρωση των μεταμορφωμένων πετρωμάτων της Πεντέλης (Mroskos et al., 2007).

Γενικά το τεκτονικό περιβάλλον της ευρύτερης περιοχής χαρακτηρίζεται από την ανάπτυξη του αντικλίνου Υμηττού-Πάρνηθας-Μαραθώνα, του οποίου ο άξονας έχει ΒΑ-ΝΔ/κή διεύθυνση. Στα ανατολικά της αντικλινικής αυτής δομής αναπτύσσεται το σύγκλινο της Μεσογαίας, τμήμα του οποίου αποτελεί η περιοχή έρευνας. Το σύγκλινο της Μεσογαίας είναι παράλληλο με το αντίκλινο του Υμηττού με την ίδια ΒΑ-ΝΔ/κή διεύθυνση. Μόνο η λεκάνη της Μεσογαίας βρίσκεται σε χερσαία περιοχή. Το βορειοανατολικό τμήμα του σύγκλινου αναπτύσσεται στον Ευβοϊκό κόλπο, ενώ στα νοτιοανατολικά, περιοχή Μερέντας, τα ανθρακικά μέλη του εμφανίζονται στην επιφάνεια. Στην περιοχή Μαρκοπούλου τα ανθρακικά μέλη εντοπίζονται σε βάθος >100 μ. αποκαλύπτοντας την ύπαρξη ενός εκτενούς καρστικού εγκύλου (Παπαδέας 2002, Αντωνίου 2010).

### **3.3 Λιγνιτοφορία -Μεταλλοφορία**

Χαρακτηριστικό γνώρισμα των Νεογενών σχηματισμών αποτελεί η ύπαρξη της οργανικής ύλης. Η παρουσία αξιόλογου λιγνιτικού ορίζοντα (εν μέρει ξυλίτη) εντοπίζεται κυρίως στο Βορειοανατολικό τμήμα της περιοχής έρευνας. Η λιγνιτοφόρος περιοχή βρίσκεται ανάντη της λεωφόρου Μαραθώνος, στο 24<sup>ο</sup> χλμ, μεταξύ Ραφήνας και Πικερμίου. Οριοθετείται ανάντη από τους πρόποδες της Πεντέλης και κατάντη από το λόφο "Περιβολάκι" ύψους 140 μέτρων. Στην θέση αυτή το έδαφος παρουσιάζει ταφροειδή βύθιση. Η εκμετάλλευση του λιγνίτη ξεκίνησε το 1878 όπου κι έγινε γνωστή η ύπαρξή του (Μαρίνος, 1955).

Τα νεώτερα ιζήματα της Νεογενούς περιόδου, εκ των οποίων και ο λιγνίτης, αποτέθηκαν επάνω στο κρυσταλλικό υπόβαθρο, το οποίο αποτελείται από μεταμορφωμένα κι ημιμεταμορφωμένα πετρώματα όπως μάρμαρα, σχιστόλιθους και ψαμμίτες. Τα στρώματα της Νεογενούς περιόδου διαχωρίζονται σε δυο ενότητες, στην κατώτερη ενότητα, όπου εντοπίζονται οι λιγνιτοφόροι ορίζοντες, που αποτελείται κυρίως από κροκαλοπαγή, ψαμμιτικές μάργες, ψαμμιτικούς ασβεστόλιθους κι αργίλους και στην ανώτερη ενότητα που αποτελείται από κροκαλοπαγή, αργίλους και άμμους.

Η μορφή του πυθμένα και των πλευρών της παλιάς αυτής λιμναίας λεκάνης ήταν ανώμαλη με πολλές νησίδες και υψώματα. Το εσωτερικό της λεκάνης πληρώθηκε με τα υλικά των ποταμών της εποχής. Η ιζηματογένεση ξεκίνησε με συμπαγή σκληρά ασβεστολιθικά κροκαλοπαγή κι ακολούθησε έξαρση, διάβρωση κι επίστρωση με παχύ νεογενές σύστημα αποτελούμενο από κροκαλοπαγή, άμμους κι αργίλους (Μαρίνος 1955, Μπορνόβας 2010). Ακολούθησαν και νέες μετακινήσεις του εδάφους και τεμαχισμοί των

στρωμάτων μέχρι τη διαμόρφωση της σημερινής καταστάσεως. Οι συνθήκες ήταν ευνοϊκές για τη συγκέντρωση φερτών οργανικών υλικών στο κέντρο της λεκάνης από τους χείμαρρους και τα ποτάμια, που σε συνδυασμό με την πανίδα και την χλωρίδα της λίμνης έδωσαν γένεση στα στρώματα του λιγνίτη.

Στην κύρια λιγνιτοφόρο περιοχή, το συνολικό πάχος υπερβαίνει κατά τόπους τα 6 μέτρα, χωριζόμενο από αραιές διαστρώσεις μάργας και αργίλου. Γενικά το εκμεταλλεύσιμο πάχος του κοιτάσματος είναι κατά μέσο όρο 1,70μέτρα. Τα βέβαια αποθέματα υπολογίστηκαν το 1955 στη λιγνιτοφόρο περιοχή σε 900.000 τόνους με πιθανά αποθέματα 1.120.000 τόνους. Η χημική σύσταση του λιγνίτη είναι 5,6% υδρογόνο, 67,8% άνθρακας, 0,7% άζωτο, 19,9% οξυγόνο και 6,0% θείο (Μαρίνος, 1955).

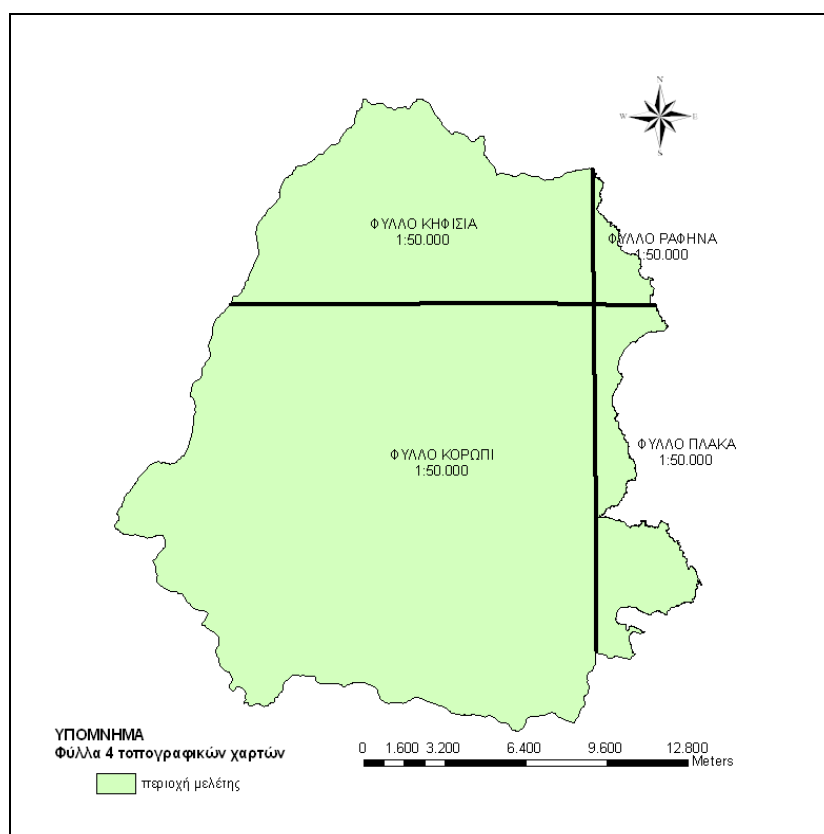
Σχετικά με την ύπαρξη αξιόλογων μεταλλοφόρων στρωμάτων στην περιοχή έρευνας δεν υπάρχουν σχετικές πληροφορίες. Αναφέρεται η παρουσία διαφόρων οξειδίων που βρίσκονται στη βάση των διερρηγμένων και έντονα καρστοποιημένων ανωκρητιδικών ασβεστόλιθων (Κατσιαβριάς, 2007). Τα οξείδια αυτά έχουν προκύψει προφανώς από την διάβρωση των ανθρακικών πετρωμάτων. Επίσης στην οροφή των οφιολιθικών σωματιδίων εντοπίζονται κατά τόπους περιορισμένες εμφανίσεις μικτών θειούχων ορυκτών. Τα ορυκτά αυτά έχουν προκύψει προφανώς από την εξαλλοίωση των υπερβασικών πετρωμάτων. Μικρές εμφανίσεις οφιολιθικών σχηματισμών που εντοπίζονται στη περιοχή μεταξύ Κορωπίου και Βάρης εμπλούτισαν τα γύρω εδάφη με μέταλλα όπως Ni, Cr, Co κ. άλ. (Serelis et al., 2010).

## 4. ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ

### 4.1 Γενικά γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά

Η περιγραφή των γεωμορφών της περιοχής έρευνας βασίστηκε στην ψηφιοποίηση σε κλίμακα 1:50.000 των τοπογραφικών φύλλων χάρτου "ΚΗΦΙΣΙΑ", "ΚΟΡΩΠΙ", "ΠΛΑΚΑ" και "ΡΑΦΗΝΑ" της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού. Η ψηφιοποίηση έγινε με τη βοήθεια του λογισμικού πακέτου Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφορικής Arc-GIS.

Στο σχήμα 4.1 παρουσιάζονται τα φύλλα των τοπογραφικών χαρτών της ΓΥΣ 1:50.000 που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση του αναγλύφου και του υδρογραφικού δικτύου της περιοχής έρευνας.



**Σχήμα 4.1:** Τα φύλλα των τοπογραφικών χαρτών που ενοποιήθηκαν για τη δημιουργία χαρτών αναγλύφου και υδρογραφικού δικτύου σε περιβάλλον ArcGIS.

Από τα δεδομένα κατασκευάστηκαν ο χάρτης αναγλύφου (σχήμα 4.2), ο χάρτης κλίσεων (σχήμα 4.3), ο χάρτης προσανατολισμού των πρηνών (σχήμα 4.4) και ο χάρτης υδρογραφικού δικτύου (σχήμα 4.6), όλοι γεωαναφερόμενοι στο Ελληνικό σύστημα προβολής ΕΡΓΣΑ'87.

Από την ανάλυση του αναγλύφου, αυτό παρατηρείται ήπιο στο κεντρικό και καλλιεργούμενο τμήμα της περιοχής έρευνας και πιο έντονο στα Δυτικά και βόρεια όπου κι αναπτύσσονται τα όρη Υμηττός και Πεντέλη αντίστοιχα.

Η ανάλυση του υδρογραφικού δικτύου πραγματοποιήθηκε στη λεκάνη απορροής του ποταμού Ερασίνου και του Μεγάλου Ρέματος (σχήματα 4.5 και 4.6). Οι δύο ποταμοί διασχίζουν εγκάρσια την περιοχή έρευνας, ο Ερασίνοσ με έναν κύριο κλάδο μόνιμης ροής και το Μεγάλο Ρέμα με δύο κύριους κλάδους μόνιμης ροής, έναν που πηγάζει από τα πρηνή της Πεντέλης κι έναν μεγαλύτερου μήκους που πηγάζει από τα βόρεια πρηνή του Υμηττού, στα Γλυκά Νερά.

## 4.2 Το ανάγλυφο

Για την ανάλυση του αναγλύφου της περιοχής έρευνας, δημιουργήθηκε ο μορφολογικός χάρτης (σχήμα 4.2), ο χάρτης κλίσεων (σχήμα 4.3) και ο χάρτης προσανατολισμού των πρηνών (σχήμα 4.4), όπως προέκυψαν απ' την ψηφιοποίηση με το Γεωγραφικό Πληροφοριακό Σύστημα Arcmap της ESRI των τοπογραφικών φύλλων χάρτου "ΚΗΦΙΣΙΑ", "ΚΟΡΩΠΙ", "ΠΛΑΚΑ" και "ΡΑΦΗΝΑ" κλίμακας 1:50.000 της ΓΥΣ. Από τη έρευνα των βασικών θεματικών χαρτών εξάγουμε σημαντικά συμπεράσματα σχετικά με την τεκτονική, την κίνηση, τη λιθολογία και την εξέλιξη του καρστ (Μιγκίρος κ.α., 2003).

Στ' ανατολικά αναπτύσσεται το όρος Υμηττός, με έντονη κλίση πρηνών, οριοθετώντας με την κορυφογραμμή του το αριστερό άκρο της περιοχής έρευνας. Το μέγιστο υψόμετρο του Υμηττού παρατηρείται στο κεντρικό τμήμα της κορυφογραμμής (1026μ.) Στα βόρεια αναπτύσσεται το Πεντελικό όρος, με ομαλότερες κλίσεις των πρηνών οριοθετώντας το βόρειο τμήμα της περιοχής. Το υψηλότερο σημείο της κορυφογραμμής παρατηρείται στο Βορειοδυτικό τμήμα (940μ.). Το υψηλότερο σημείο του όρους (1107μ.) ανήκει σε άλλη λεκάνη απορροής. Στο εσωτερικό, η μεγαλύτερη έκταση καταλαμβάνεται απ' την πεδιάδα των Μεσογείων με μέσο υψόμετρο 80-100 μέτρα. Γύρω απ' την πεδιάδα αναπτύσσονται μικρού υψομέτρου λόφοι συμβάλλοντας σημαντικά στο ανάγλυφο της περιοχής. Στο Βόρειο-Δυτικό τμήμα αναπτύσσονται οι λόφοι "Μπούρα" και "Δάσος" με μέγιστα υψόμετρα 300μ. και 289μ. αντίστοιχα και νοτιότερα το "Λοφίο" (235μ.) η "Καμάρα" (255μ.) και το "Πυργάρι" (245μ.). Στο Βόρειο-Ανατολικό τμήμα αναπτύσσονται οι λόφοι "Έτος" και "Πετροκορυφή" με μέγιστα ύψη 198μ. και 185μ. αντίστοιχα. Νοτιότερα αναπτύσσονται με τη σειρά οι λόφοι "Ζαγάνη" 184μ. "Αγ. Ιωάννης" 214μ, "Δεδεσπότη" 125μ. και "Πυργάρι" 139μ. Στο νότιο τμήμα της πόλης του Κορωπίου αναπτύσσεται ο ψηλότερος λόφος της περιοχής "Κόντρα" με μέγιστο ύψος 335μ. και ο λόφος "Παλάτι" με ύψος κορυφής 221μ. Τέλος, στο Νοτιοανατολικό όριο της περιοχής αναπτύσσονται οι λόφοι "Μερέντα", "Κορυφή" και "Περατή" με μέγιστα υψόμετρα 604μ., 414μ. και 308μ. αντίστοιχα.

### 4.2.1 Υψομετρική ανάλυση λεκάνης απορροής Ερασίνου

Η λεκάνη απορροής του ποταμού Ερασίνου καταλαμβάνει συνολική έκταση 202,8km<sup>2</sup> και αποστραγγίζει τις επιφανειακές απορροές του Ερασίνου που πηγάζει από τα κεντρικά και νότια πρηνή του Υμηττού, καταλήγοντας στον κόλπο της Βραυρώνας. Εφαρμόζοντας υπολογιστικές μεθόδους εμβαδομέτρησης στο λογισμικό πρόγραμμα Arc-GIS προέκυψαν τα στοιχεία του πίνακα 4.1.

Πίνακας 4.1: Υψομετρική ανάλυση της λεκάνης απορροής Ερασίνου

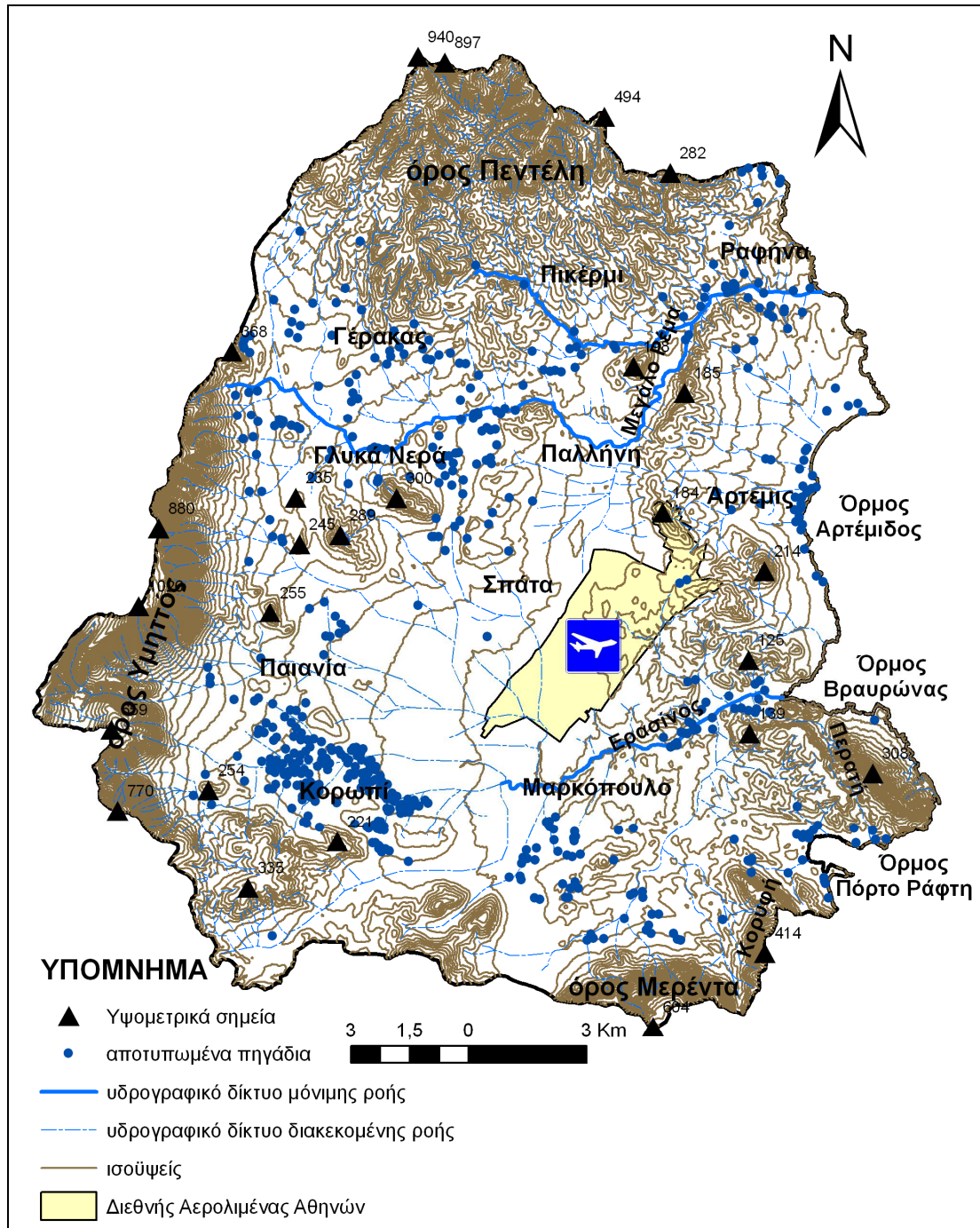
Υψόμετρο (m)	Km <sup>2</sup>	Ποσοστό (%)	Αθροιστικό ποσοστό(%)
0-100	96,72	47,69%	47,69%
100-200	65,28	32,19%	79,88%
200-300	19,66	9,69%	89,58%
300-600	15,72	7,75%	97,33%
600-1020	5,42	2,67%	100,00%
ΣΥΝΟΛΟ	202,8	100,00%	

Από τα στοιχεία του πίνακα 4.1 παρατηρούμε πως το 80% της περιοχής δεν ξεπερνά τα 200m υψόμετρο ενώ τη μεγαλύτερη έκταση (97km<sup>2</sup>) αποτελεί η ομάδα με τα χαμηλότερα υψόμετρα (0-100m).

Το μέσο υψόμετρο υπολογίστηκε στα 155,5m απ' τη σχέση:

$$\bar{H} = \sum \frac{\alpha \cdot \varepsilon}{E}$$

όπου α: το εμβαδόν μεταξύ δύο διαδοχικών ισοϋψών  
 ε: το μέσο υψόμετρο της επιφάνειας α και  
 E: η συνολική έκταση της περιοχής



Σχήμα 4.2: Ψηφιοποιημένος τοπογραφικός χάρτης της περιοχής έρευνας με το υδρογραφικό δίκτυο και τα αποτυπωμένα υψομετρικά σημεία και υδροσημεία.



Οι τοπογραφικές κλίσεις στην περιοχή έρευνας υπολογίστηκαν βάση λογισμικού προγράμματος Arc-GIS κι αποτυπώνονται στο χάρτη του σχήματος 4.3. Η μορφολογική κλίση επηρεάζει την επιφανειακή απορροή καθώς και το είδος και την ανάπτυξη των φυτών, καθώς σε περιοχές με απότομες κλίσεις όπου η επιφανειακή απορροή συντελείται με ταχείς ρυθμούς ευδοκιμούν φυτά με χαμηλές ανάγκες σε νερό.

Από το χάρτη κλίσεων (σχήμα 4.3) παρατηρούνται ήπιες κλίσεις (<5%) σε όλο το κεντρικό τμήμα της λεκάνης απορροής του Ερασίνου, περιοχή που καταλαμβάνεται από μεγάλο τμήμα του καλλιεργούμενου κάμπου των Μεσογείων, καθώς και στην παράκτια ζώνη της Αρτέμιδος. Ήπιες κλίσεις (5-10%) παρατηρούνται και γύρω από την κεντρική περιοχή φθάνοντας περίπου έως τα 300m υψόμετρο. Οι ομαλές κλίσεις των πρανών (10-15%) εμφανίζονται σε μικρό ποσοστό στη λεκάνη του Ερασίνου και παρατηρούνται κατά την έξοδό τους από τους μεμονωμένους λόφους και τον ορεινό όγκο του Υμηττού. Οι κλίσεις πρανών με τιμές από 15-30% είναι χαρακτηριστικές του όρους Υμηττός και των λόφων του Νοτιοανατολικού τμήματος Μερέντα, Κορυφή και Περατή. Οι κλίσεις αυτές χαρακτηρίζονται ως μέσες κι είναι αποτέλεσμα διαβρωτικών εργασιών. Απότομες κλίσεις παρατηρούνται μόνο στις κορυφές του Υμηττού και των υψηλότερων λόφων "Μερέντα" και "Κορυφή". Η υψηλότερη κλίση σε όλην την περιοχή έρευνας (43%) παρατηρείται κοντά στην κορυφή του Υμηττού.

Η επιτόπια παρατήρηση σε συνδυασμό με την φωτοερμηνεία των αεροφωτογραφιών έδειξε στις περιοχές με τις υψηλές κλίσεις την ανάπτυξη κυρίως χαλεπίου πεύκης και θαμνώδους βλάστησης, είδη με χαμηλές ανάγκες σε νερό.

Από το χάρτη προσανατολισμού των πρανών (σχήμα 4.4) είναι χαρακτηριστική η επικράτηση των επίπεδων περιοχών. Η γενική διεύθυνση είναι ΒΑ-ΝΔ η οποία ακολουθεί την τεκτονική δομή της περιοχής. Το Σύγκλινο της Μεσογαίας είναι παράλληλο με το αντίκλινο του Υμηττού με ίδια διεύθυνση (ΒΑ-ΝΔ) (Παπαδέας, 2002).

#### 4.2.2 Υψομετρική ανάλυση λεκάνης απορροής Μεγάλου Ρέματος

Η λεκάνη απορροής του Μεγάλου Ρέματος καταλαμβάνει συνολική έκταση 160km<sup>2</sup> και αποστραγγίζει τις επιφανειακές απορροές του Μεγάλου Ρέματος Ραφήνας που πηγάζει από τα κεντρικά και βόρεια πρανή του Υμηττού και τα νότια πρανή της Πεντέλης, εκβάλλοντας στον κόλπο της Ραφήνας, κατάντη του ομώνυμου λιμανιού. Εμβαδομετρώντας στο λογισμικό πρόγραμμα Arc-GIS προέκυψαν τα υψομετρικά στοιχεία του πίνακα 4.2.

**Πίνακας 4.2:** Υψομετρική ανάλυση της λεκάνης απορροής Μεγάλου Ρέματος

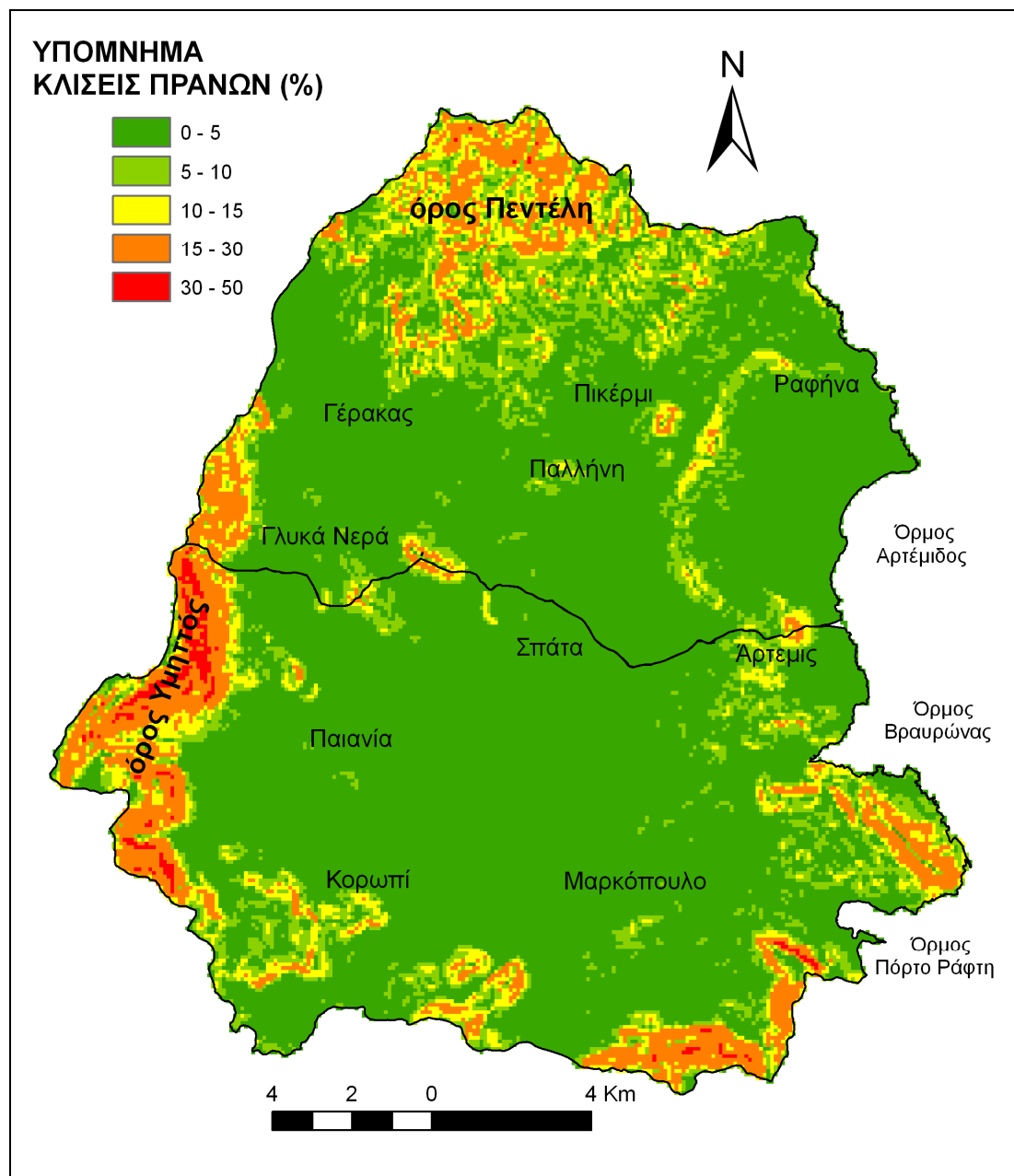
Υψόμετρο (m)	Km <sup>2</sup>	Ποσοστό (%)	Αθροιστικό Ποσοστό (%)
0-100	52,88	33,05%	33,05%
100-200	47,79	29,87%	62,92%
200-300	25,66	16,04%	78,96%
300-400	16,52	10,33%	89,28%
400-500	9,25	5,78%	95,06%
500-940	7,9	4,94%	100,00%
ΣΥΝΟΛΟ	160	100,00%	

Όπως και στη λεκάνη του Ερασίνου, έτσι και στη γειτονική λεκάνη του Μεγάλου Ρέματος τα υψόμετρα από 0-100m αντιπροσωπεύουν το μεγαλύτερο ποσοστό έκτασης της περιοχής (33%). Το μέσο υψόμετρο υπολογίστηκε στα 199,1m, ελαφρώς μεγαλύτερο από το αντίστοιχο της λεκάνης Ερασίνου.

Στη λεκάνη του Μεγάλου Ρέματος παρατηρούνται γενικά μεγαλύτερα υψόμετρα

συγκριτικά με τη λεκάνη του Ερασίνου, καθώς μεγάλο μέρος της λεκάνης καταλαμβάνει ο ορεινός όγκος της Πεντέλης. Το ποσοστό των εκτάσεων που ξεπερνούν τα 200m υψόμετρο είναι περίπου 37% σε αντιδιαστολή με το 20% της λεκάνης του Ερασίνου.

Οι κλίσεις των κλιτύων (σχήμα 4.3) παρατηρούνται ήπιες (0-10%) στο μεγαλύτερο μέρος της λεκάνης, καθώς και σε όλη την παράκτια ζώνη. Οι ομαλές κλίσεις (10-15%) εμφανίζονται σε μικρό ποσοστό και παρατηρούνται στους πρόποδες των λόφων "Μπούρα", "Έτος", "Πετροκορυφή" και "Αγ. Ιωάννης" καθώς και στην έξοδό τους από τους κύριους όγκους της Πεντέλης (στα βόρεια) και του Υμηττού (στα δυτικά).

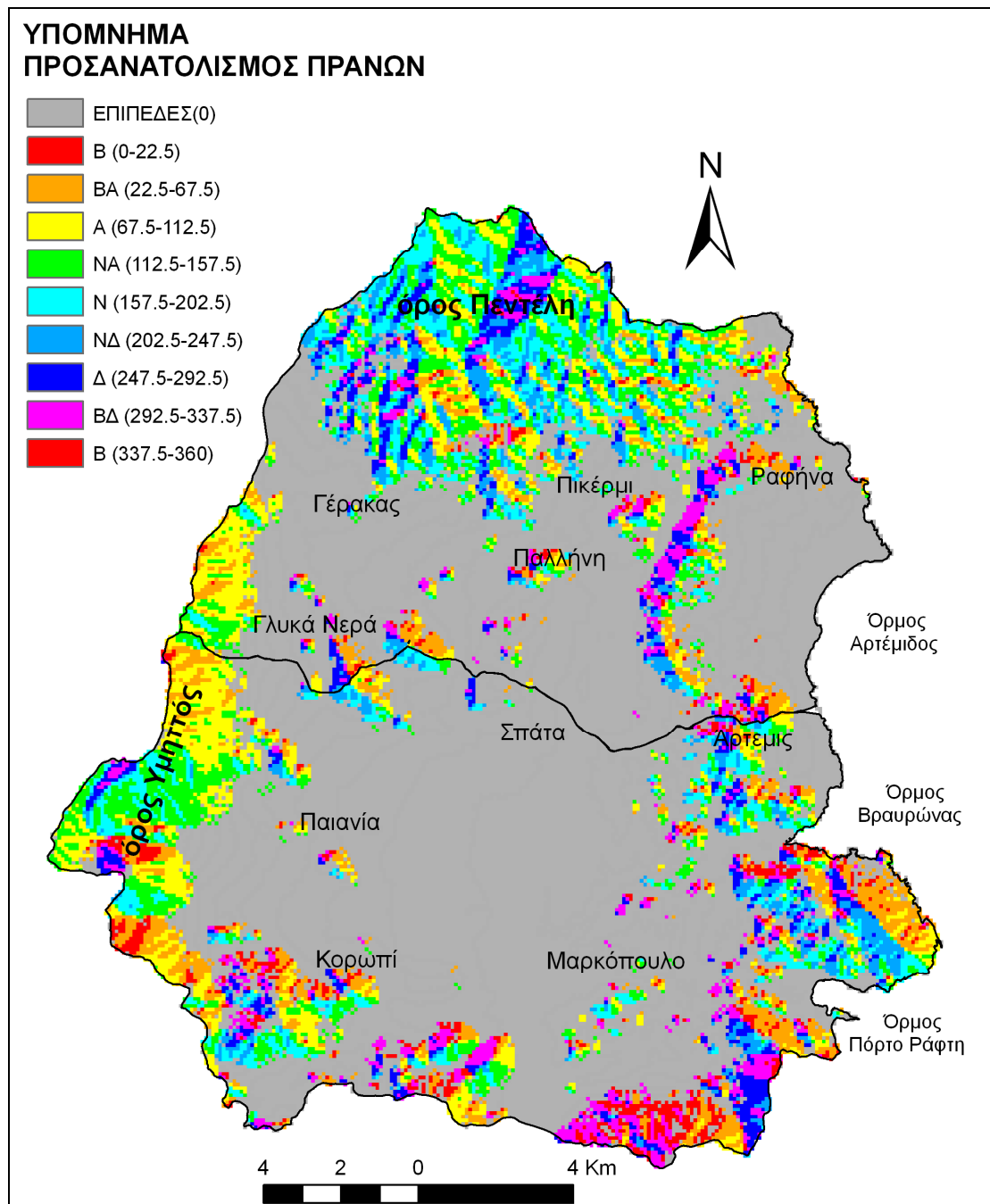


**Σχήμα 4.3:** Χάρτης κλίσεων των δύο λεκανών απορροής της περιοχής έρευνας, όπως αποτυπώνονται μέσω της επεξεργασίας του Γ.Π.Σ.

Μέσες κλίσεις (15-30%) παρατηρούνται στις κορυφές των προαναφερθέντων λόφων και στους κύριους όγκους των δύο βουνών. Ενδιαφέρον παρουσιάζει η

απουσία απότομων (>30%) και πολύ απότομων (>65%) κλίσεων στη λεκάνη του Μεγάλου Ρέματος. Στους ορεινούς όγκους της λεκάνης με τις μέγιστες κλίσεις (15-30%) παρατηρείται βλάστηση με χαμηλές απαιτήσεις σε νερά (Χαλέπιος Πεύκη και θάμνοι).

Από το χάρτη προσανατολισμού των πρανών (σχήμα 4.4) παρατηρείται σχεδόν το 50% της συνολικής έκτασης της λεκάνης του Μεγάλου Ρέματος να καταλαμβάνεται από επίπεδες εκτάσεις. Οι επικρατούντες προσανατολισμοί είναι Νότιοι και Νοτιοανατολικοί και παρατηρούνται κυρίως στους ορεινούς όγκους της Πεντέλης και του Υμηττού. Η γενική διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ ακολουθεί την τεκτονική της περιοχής.



**Σχήμα 4.4:** Χάρτης προσανατολισμού των πρανών των δύο λεκανών απορροής της περιοχής έρευνας, όπως αποτυπώνονται μέσω της επεξεργασίας του Γ.Π.Σ.

### 4.2.3 Εμφανίσεις καρστ

Ο γενικός όρος καρστ χρησιμοποιείται διεθνώς για την περιγραφή των γεωλογικών δομών που προκύπτουν απ' τη χημική διάλυση ανθρακικών πετρωμάτων από ασθενές ανθρακικό οξύ ( $H_2CO_3$ ) το οποίο προσλαμβάνεται απ' το έδαφος κι απ' τον αέρα (Γκάρτζος, 2004). Απ' τη χημική διάλυση προκύπτουν επιφανειακές χαρακτηριστικές μορφές και υπόγεια κενά, τα οποία αποτελούν τα σπήλαια. Το σύνολο αυτών των διαδικασιών που εκδηλώνονται κυρίως στα ανθρακικά πετρώματα αποτελούν τα ονομαζόμενα καρστικά φαινόμενα.

Στη Δυτική περιοχή έρευνας παρατηρούνται έντονες ενδοκαρστικές μορφές. Με τον όρο ενδοκαρστικές μορφές εννοούνται μορφές υπόγειου καρστ οι οποίες σχηματίζονται από τη διάλυση του ασβεστόλιθου ατά την υπόγεια ροή του νερού μέσα από τη μάζα του, σε αντίθεση με τις εξωκαρστικές μορφές που παρατηρούνται στην επιφάνεια των πετρωμάτων.

Σε ύψος 510 μέτρων, στα πρηνή του Υμηττού στην Παιανία, εμφανίζεται το ηλικίας 2.000.000 ετών Σπήλαιο «Κουτούκι» με βάθος 38,5m και μήκος διαδρόμων 350m το οποίο χαρτογραφήθηκε το 1954 απ' το ζεύγος Πετροχειλίου της Ελληνικής Σπηλαιολογικής Εταιρίας. Το Σπήλαιο εντάσσεται στο υπόγειο καρστικό σύστημα του Υμηττού, το οποίο προέκυψε απ' την υψηλή διαλυτότητα των ασβεστολιθικών πετρωμάτων.

Γενικά ο Υμηττός χαρακτηρίζεται για την παρουσία πολλών σπηλαίων εκ των οποίων το σπουδαιότερο είναι το "Κουτούκι" της Παιανίας. Άλλα γνωστά σπήλαια είναι το σπήλαιο "Λεονταριού", ο "Αγ. Ιωάννης" στον Καρέα, η "Τρύπια Σπηλιά", η "Γιδοσπηλιά", η "Θρακιά" στο Σταυρό κ.α. ([www.esse.edu.gr](http://www.esse.edu.gr)).

### 4.3 Υδρογραφικό δίκτυο

Στο σχήμα 4.5 αποτυπώνεται ο τοπογραφικός χάρτης με το υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής. Το υδρογραφικό δίκτυο συνιστά το σύνολο διαφόρων ρεμάτων που συνδέονται μεταξύ τους κι απολήγουν στο κεντρικό ρέμα. Η έκταση που αποστραγγίζεται απ' το δίκτυο αυτό ονομάζεται λεκάνη απορροής.

Η περιοχή έρευνας συνίσταται από δύο λεκάνες απορροής:

- Τη λεκάνη του Μεγάλου Ρέματος Ραφήνας στο βόρειο τμήμα και
- Τη λεκάνη του Ερασίνου στο νότιο τμήμα (σχήματα 4.5 και 4.6)

Οι δύο λεκάνες απορροής οριοθετούνται απ' την ακτογραμμή Ραφήνα-Πόρτο Ράφτη και απ' τον υδροκρίτη, την τεθλασμένη γραμμή που ακολουθεί τα ψηλότερα σημεία που περιβάλλουν τις λεκάνες. Το κοινό όριο των δύο λεκανών κόβει τον κάμπο των Μεσογείων κι εκτείνεται απ' την αρχή του βόρειου τμήματος του υδροκρίτη του Υμηττού έως τον κόλπο της Αρτέμιδος.

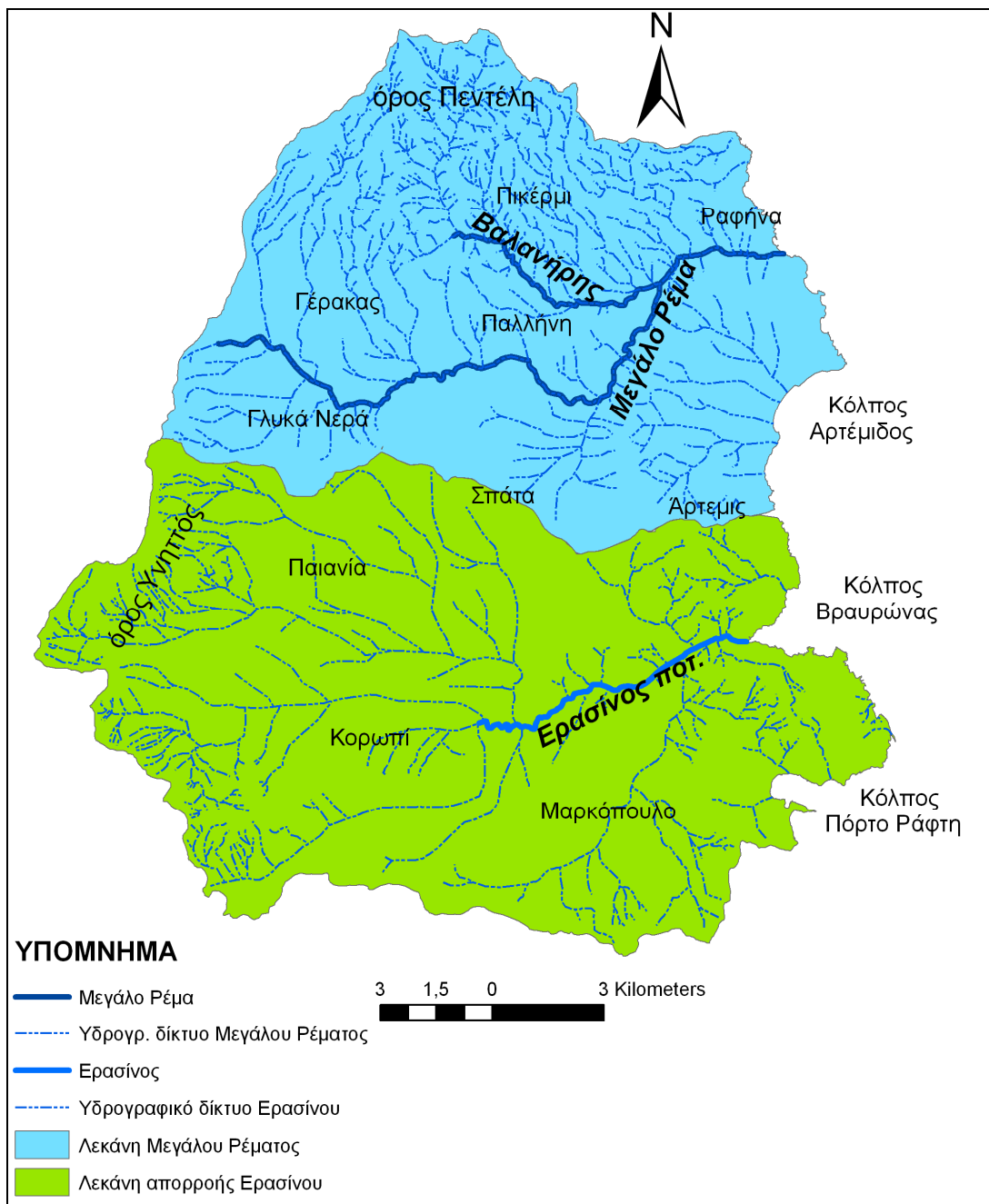
#### 4.3.1 Λεκάνη απορροής Ερασίνου

Ο Ερασίνος αποτελείται μόνο από έναν κεντρικό κλάδο, ο οποίος παρουσιάζει μηδενική ροή τους θερμούς άνομβρους μήνες κι εκβάλει στον όρμο Βραώνας. Ο κύριος κλάδος του ποταμού συνολικού μήκους 8,25km διαρρέει μέσω νεογενών και τεταρτογενών αποθέσεων (σχήμα 3.2). Η λεκάνη του Ερασίνου οριοθετείται στα δυτικά απ' τον υδροκρίτη του Υμηττού, νότια απ' τους υδροκρίτες των λόφων Μερέντα, και Κορυφή και στα ανατολικά απ' την ακτογραμμή Άρτεμις-Πόρτο Ράφτη.

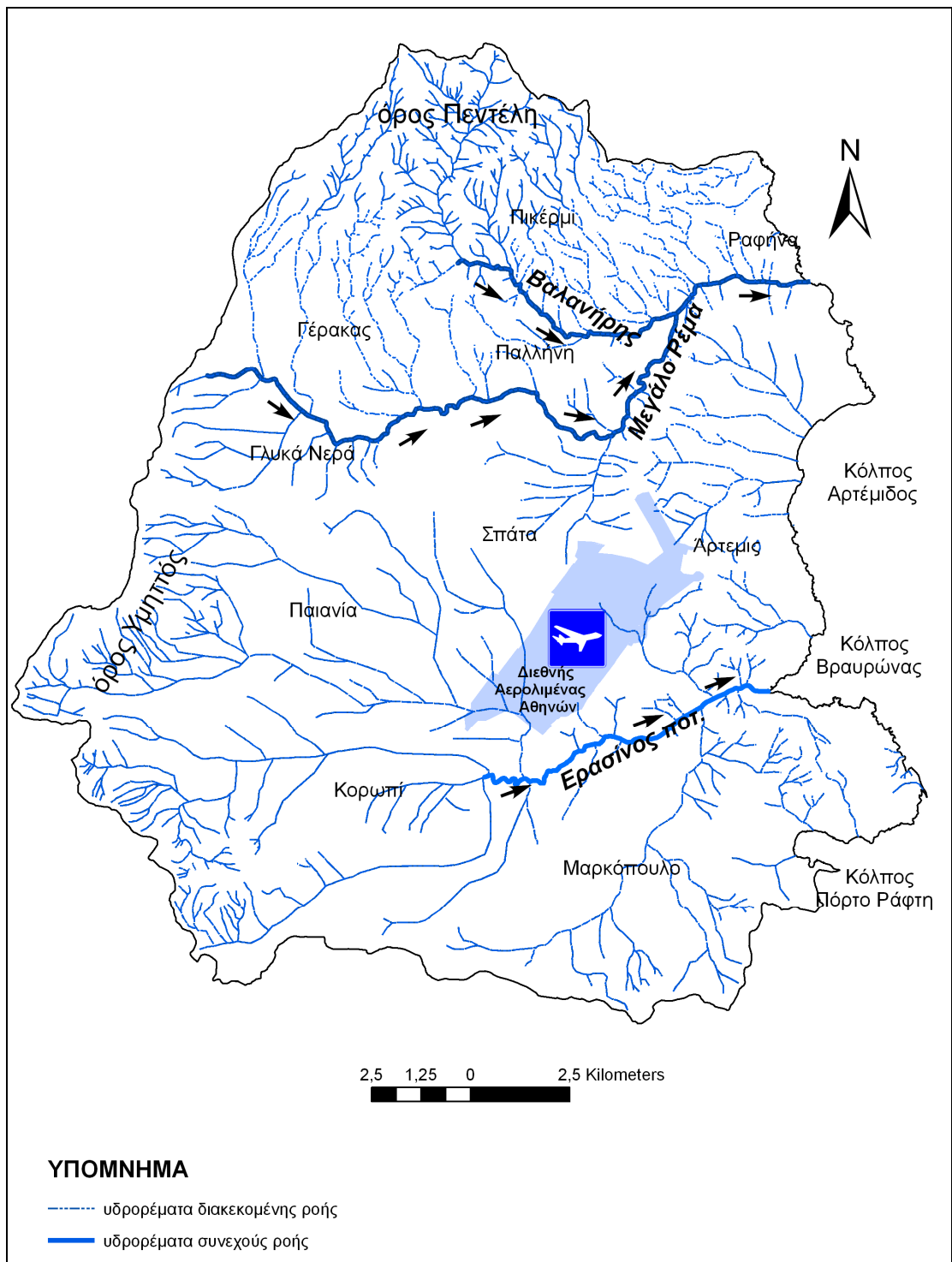
Εντοπίζονται κλάδοι υδρογραφικού δικτύου 1<sup>ης</sup> έως και 7<sup>ης</sup> τάξης. Το υδρογραφικό δίκτυο είναι μέτρια ανεπτυγμένο με μορφές παράλληλες, γωνιώδεις και δενδριτικές. Η εμφάνιση της παράλληλης και γωνιώδους μορφής υδρογραφικού δικτύου σχετίζεται με την παρουσία των ανθρακικών πετρωμάτων, ασβεστόλιθων,

μαρμάρων και δολομιτών. Οι μορφές αυτές διαμορφώνονται κυρίως στα πρανή των κύριων όγκων (του όρους Υμηττός) και των λόφων του νότιου τμήματος "Μερέντα", "Κορυφή" και "Περατή". Η δενδριτική μορφή εμφανίζεται κυρίως στην παράκτια κι ενδοχώρια πεδινή περιοχή και σχετίζεται με την ανάπτυξη των λιθολογικών τύπων, όπως είναι τα νεογενή ιζήματα (σχ. 4.5 και 4.6). Οι γεωλογικοί σχηματισμοί του τριτογενούς και τεταρτογενούς που καλύπτουν το μεγαλύτερο τμήμα της περιοχής είναι χαλαρά και μαλακά ιζήματα. Τα πετρώματα αυτά διακρίνονται για την εύκολη διάβρωσή τους, γεγονός που συμβάλλει στην ανάπτυξη ενός τέτοιου τύπου υδρογραφικού δικτύου.

Η παράκτια ζώνη της λεκάνης Ερασίνου (2.669 εκτάρια) ανήκει στην προστατευόμενη ζώνη Natura 2000, με τον κωδικό GR3000004 στην κατηγορία SCI ([http://www.minenv.gr/1/12/121/12103/g1210300/00/Eniaios\\_Katalogos09.xls](http://www.minenv.gr/1/12/121/12103/g1210300/00/Eniaios_Katalogos09.xls)).



Σχήμα 4.5: Ανάπτυξη των δυο λεκανών απορροής της περιοχής έρευνας



Σχήμα 4.6: Ανάπτυξη του υδρογραφικού δικτύου στις λεκάνες Ερασίνου και Μεγάλου Ρέματος Ραφήνας.

#### 4.3.2 Λεκάνη απορροής Μεγάλου Ρέματος

Το Μεγάλο Ρέμα Ραφήνας αποτελείται από δύο κυρίους κλάδους, έναν που πηγάζει από την Πεντέλη κι ονομάζεται "Βαλανήρης" κι έναν που πηγάζει από τα βόρεια πρανή του Υμηττού κι έχει το όνομα του κύριου ποταμού (Μεγάλο Ρέμα). Οι δύο αυτοί κλάδοι ενώνονται στο Πικέρμι και καταλήγουν σε έναν κεντρικό κλάδο

που ονομάζεται επίσης Μεγάλο Ρέμα ή Ρέμα Ραφήνας, επειδή εκβάλλει στο ομώνυμο λιμάνι. Το Μεγάλο Ρέμα παρουσιάζει μόνιμη ροή, ενώ ο Βαλανήρης παρουσιάζει εποχικά κυμαινόμενη ροή με μηδενική ροή τους θερινούς μήνες. Ο Βαλανήρης συνολικού μήκους 6,5km, το Μεγάλο Ρέμα συνολικού μήκους 15,9km και ο κεντρικός κλάδος του ρέματος της Ραφήνας συνολικού μήκους 3,9 km διαρρέουν όπως κι ο Ερασίνοσ μέσω νεογενών και τεταρτογενών αποθέσεων (σχήμα 3.2). Η λεκάνη του Μεγάλου Ρέματος οριοθετείται στα βόρεια και δυτικά απ' τον υδροκρίτη της Πεντέλης και στα ανατολικά απ' την ακτογραμμή Ραφήνα-Άρτεμις.

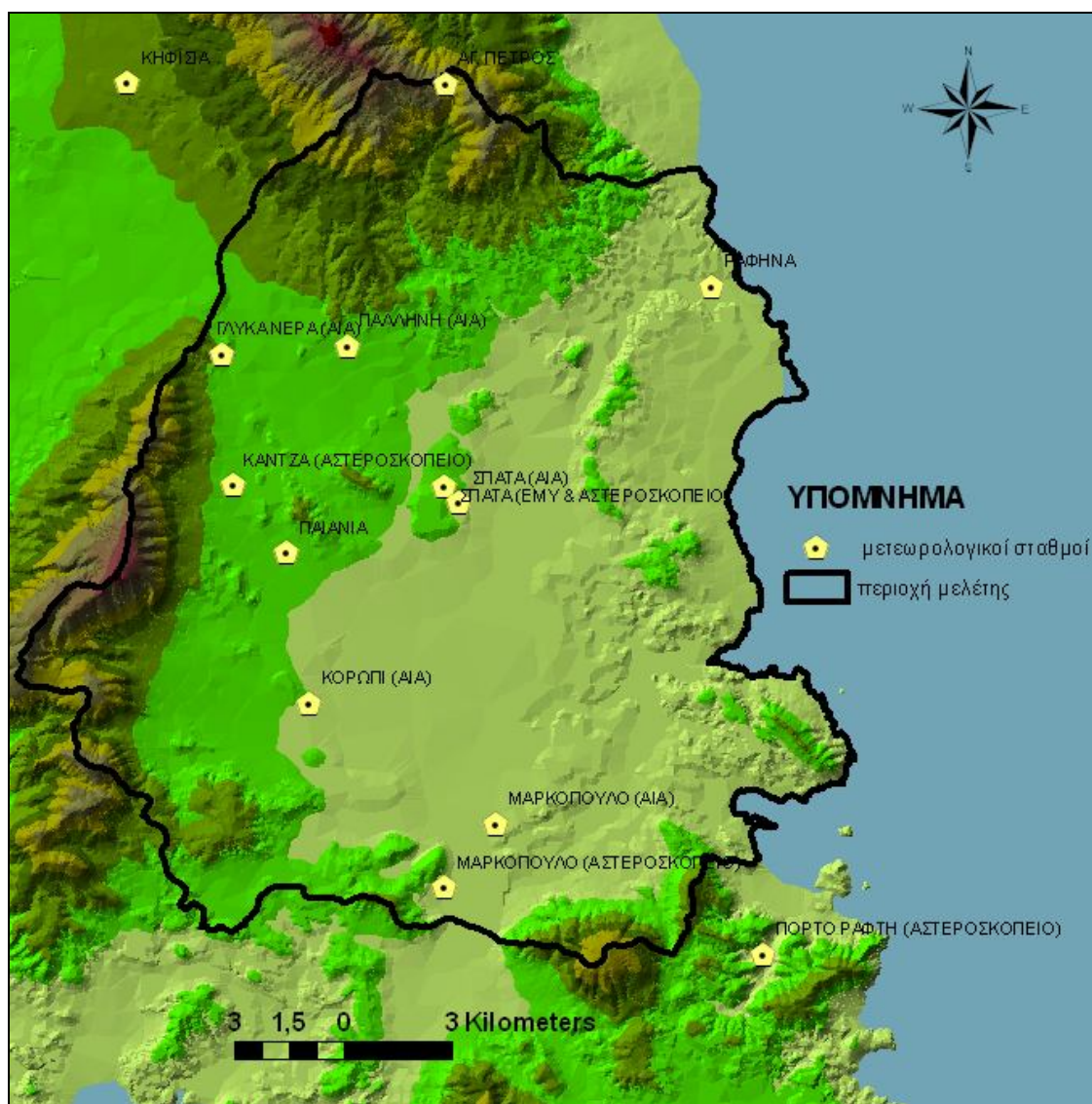
Το υδρογραφικό δίκτυο είναι πιο έντονα ανεπτυγμένο στα βόρεια που αναπτύσσονται οι κύριοι όγκοι της Πεντέλης και μέτρια ανεπτυγμένο στο κεντρικό και νότιο τμήμα της λεκάνης. Η εμφάνιση της παράλληλης και γωνιώδους μορφής υδρογραφικού δικτύου σχετίζεται με την παρουσία των ανθρακικών πετρωμάτων, ασβεστόλιθων και μαρμάρων. Στο νότιο και κεντρικό τμήμα που επικρατούν οι νεογενείς και τεταρτογενείς αποθέσεις, το υδρογραφικό δίκτυο είναι δενδριτικής μορφής. Οι κλάδοι υδρογραφικού δικτύου που εντοπίζονται είναι όπως και στη λεκάνη του Ερασίνοσ 1<sup>ης</sup> έως και 7<sup>ης</sup> τάξης.



## 5. ΥΔΡΟΛΟΓΙΑ

### 5.1 Γενικά

Τα κλιματολογικά στοιχεία αποτελούν ουσιαστικό παράγοντα διαμόρφωσης του υδρολογικού ισοζυγίου μιας περιοχής. Στην ευρύτερη περιοχή έρευνας υπάρχουν αρκετοί αντιπροσωπευτικοί μετεωρολογικοί σταθμοί, ωστόσο η λειτουργία τους ξεκίνησε πρόσφατα δυσκολεύοντας την αντικειμενική αξιοποίηση των δεδομένων τους. Κλιματολογικά στοιχεία πολλών ετών ελήφθησαν από τους σταθμούς της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας: Σπάτα (1957-2009) , Παιανία (1972-1983) και Ραφήνα (1974-1983) και του Διεθνούς Αερολιμένα Αθηνών (1999-2009) Σπάτα, Κορωπί, Γλυκά Νερά, Μαρκόπουλο και Παλλήνη. Η γεωγραφική κατανομή των σταθμών στην περιοχή έρευνας παρουσιάζονται στην εικόνα του σχήματος 5.1.



**Σχήμα 5.1:** Ψηφιακό Υψομετρικό Μοντέλο της περιοχής έρευνας με τους 14 μετεωρολογικούς σταθμούς

Επειδή όμως κρίθηκε αναγκαία η αντιπροσωπευτική λήψη των δεδομένων, όσον αφορά το υψόμετρο και τη γενικότερη γεωγραφική κατανομή, χρησιμοποιήθηκαν και τα δεδομένα των πρόσφατα λειτουργούντων μετεωρολογικών σταθμών του Εθνικού Αστεροσκοπείου (Σπάτα 2008-2009, Μαρκόπουλο 2006-2009, Κάντζα 2008-2009, Πόρτο Ράφτη 2008-2009, Κηφισιά 2008-2009 και Αγ. Πέτρος Πεντέλης 2008-2009). Βασικός παράγοντας της επιλογής των σταθμών υπήρξε η απόσταση απ' την περιοχή



έρευνας και η αξιοπιστία των τιμών τους. Συνολικά χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από 14 σταθμούς, όπως φαίνονται στον πίνακα 5.1. Τα αναλυτικά κλιματολογικά στοιχεία των σταθμών αυτών παρατίθενται στον πίνακα V του παραρτήματος.

**Πίνακας 5.1:** Χαρακτηριστικά Μετεωρολογικών Σταθμών της περιοχής έρευνας

ΟΝΟΜΑ ΣΤΑΘΜΟΥ	ΦΟΡΕΑΣ	ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ		ΥΨΟΜΕΤΡΟ
ΣΠΑΤΑ	ΑΣΤΕΡΟΣΚΟΠΕΙΟ	2008-2009	38°00'	23°54'	144
ΜΑΡΚΟΠΟΥΛΟ	ΑΣΤΕΡΟΣΚΟΠΕΙΟ	2006-2009	37°52'	23°55'	80
ΚΑΝΤΖΑ	ΑΣΤΕΡΟΣΚΟΠΕΙΟ	2008-2009	37°58'	23°51'	221
ΠΟΡΤΟ ΡΑΦΤΗ	ΑΣΤΕΡΟΣΚΟΠΕΙΟ	2008-2009	37°51'	24°01'	36
ΑΓ.ΠΕΤΡΟΣ	ΑΣΤΕΡΟΣΚΟΠΕΙΟ	2008-2009	38°04'	23°55'	470
ΚΗΦΙΣΙΑ	ΑΣΤΕΡΟΣΚΟΠΕΙΟ	2008-2009	38°04'	23°49'	290
ΠΑΙΑΝΙΑ	ΕΜΥ	1972-1983	38°01'	24°00'	152
ΡΑΦΗΝΑ	ΕΜΥ	1972-1983	37°58'	23°55'	4
ΣΠΑΤΑ	ΕΜΥ	1957-2009	38°00'	23°54'	28
ΜΑΡΚΟΠΟΥΛΟ	ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΟ	1999-2009	37°53'	23°56'	107
ΠΑΛΛΗΝΗ	ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΟ	1999-2009	38°00'	23°53'	187
ΣΠΑΤΑ	ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΟ	1999-2009	37°57'	23°55'	155
ΚΟΡΩΠΙ	ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΟ	1999-2009	37°54'	23°52'	110
ΓΛΥΚΑ ΝΕΡΑ	ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΟ	1999-2009	38°00'	23°50'	250

## 5.2 Κλιματικά Στοιχεία

### 5.2.1. Θερμοκρασία

Η θερμοκρασία είναι μια σημαντική κλιματική παράμετρος καθόσον παίζει καθοριστικό ρόλο στη διαμόρφωση του υδρολογικού ισοζυγίου μιας περιοχής. Η θερμοκρασία διαμορφώνει σε μεγάλο βαθμό την εξατμισοδιαπνοή, μαζί με την ηλιακή ακτινοβολία και την ταχύτητα του ανέμου (Φλόκας, 1994).

Η ημερήσια μεταβολή της θερμοκρασίας αέρα μιας κανονικής ημέρας (χωρίς σύννεφα και με νηνεμία) ακολουθεί με κάποια καθυστέρηση την αντίστοιχη μεταβολή της ηλιακής ακτινοβολίας. Οι μέγιστες τιμές σημειώνονται 1-2 ώρες μετά τη μεσουράνηση του ηλίου ενώ οι ελάχιστες λίγα λεπτά μετά την ανατολή του ηλίου. Η ετήσια μεταβολή της θερμοκρασίας παρουσιάζει συνήθως απλή κύμανση με τις μέγιστες τιμές να σημειώνονται τους μήνες Ιούλιο ή Αύγουστο και τις ελάχιστες τον Ιανουάριο ή Φεβρουάριο (Φλόκας, 1994).

Ο μέσος όρος των μέσων μηνιαίων θερμοκρασιών (μέση, μέση μέγιστη και μέση ελάχιστη) των 14 μετεωρολογικών σταθμών της περιοχής παρουσιάζονται στον πίνακα 5.2. Η μέση μηνιαία θερμοκρασία βρίσκεται πιο κοντά στη μέση μέγιστη, κάτι που επιβεβαιώνει το ξηροθερμικό κλίμα της περιοχής με θερμά καλοκαίρια και ήπιους χειμώνες.

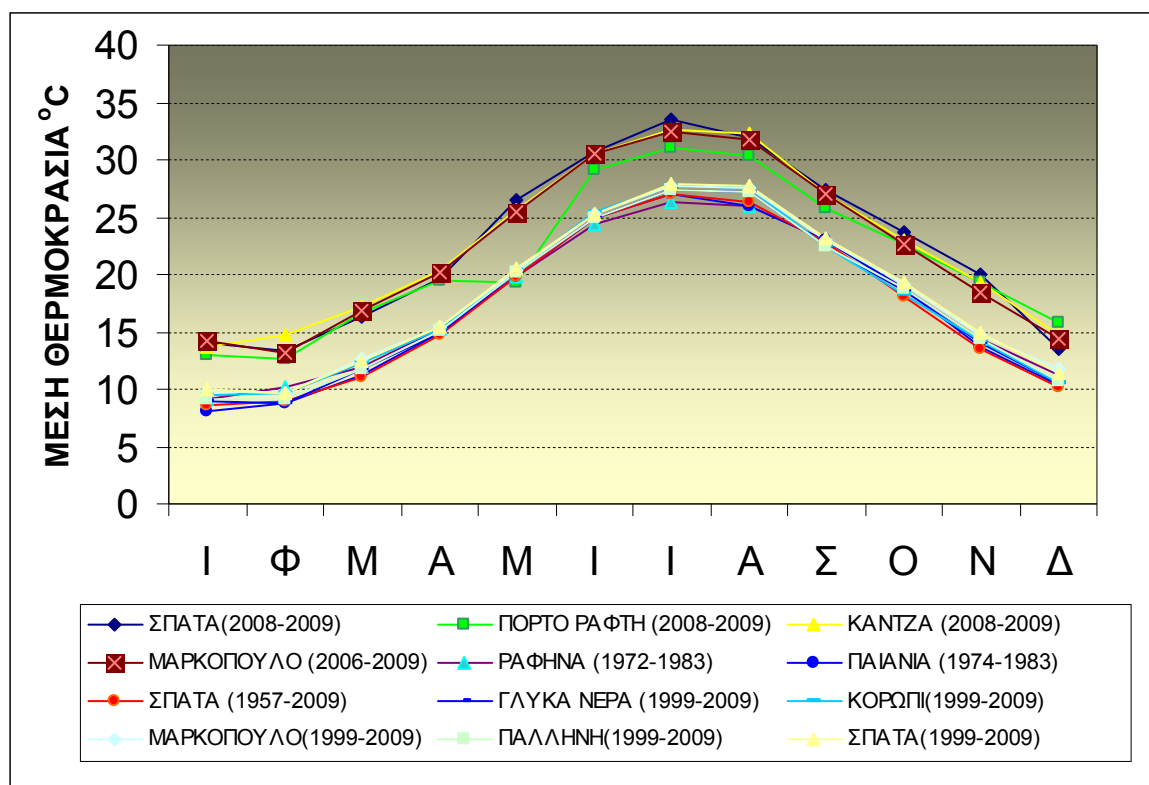
Οι υψηλότερες θερμοκρασίες παρατηρούνται τους τρεις καλοκαιρινούς μήνες με μέση μέγιστη θερμοκρασία όλων των σταθμών 35,8°C το μήνα Ιούλιο. Οι μέσες ελάχιστες θερμοκρασίες παρατηρούνται τους 3 χειμωνιάτικους μήνες και κυμαίνονται μεταξύ 1,5 - 4°C.

Η ετήσια κύμανση των μέσων μηνιαίων θερμοκρασιών των σταθμών εντός της περιοχής έρευνας παρουσιάζονται στο σχήμα 5.2, απ' όπου προκύπτει ότι η μέγιστη θερμοκρασία στην περιοχή έρευνας παρατηρείται τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο και η ελάχιστη το μήνα Ιανουάριο.

Οι τιμές μέσης θερμοκρασίας των περισσότερων σταθμών συμπίπτουν. Οι υψηλότερες μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες των σταθμών Μαρόπουλο (2006-2009), Πόρτο Ράφτη, Κάντζα και Σπάτα (2008-2009) αποδίδονται στην αύξηση των θερμοκρασιών της τελευταίας δεκαετίας (Tzanakou and Deligiorgi, 2006).

**Πίνακας 5.2:** Κλιματολογικά στοιχεία - Μέσοι όροι όλων των σταθμών (1972-2009)

ΜΗΝΑΣ	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (°C)			ΥΕΤΟΣ	ΣΧΕΤΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ	Ra W/m <sup>2</sup>
	Μέση	Μέση μέγιστη	Μέση ελάχιστη			
Ι	10,32	16,65	2,79	55,40	68,53	209,0
Φ	10,14	17,30	1,44	47,67	67,21	245,37
Μ	13,07	21,35	4,84	57,95	64,25	358,91
Α	16,24	23,98	7,23	25,84	58,95	430,71
Μ	21,20	29,56	11,44	11,62	52,36	503,88
Ι	26,36	33,98	16,34	5,84	45,62	510,15
Ι	28,60	35,87	19,85	6,76	44,05	514,13
Α	28,03	34,58	19,66	2,14	46,07	465,08
Σ	23,62	31,91	14,82	25,37	56,17	374,28
Ο	19,66	27,08	11,17	56,13	63,79	296,21
Ν	15,53	22,60	7,05	57,73	69,33	215,02
Δ	11,71	18,30	3,69	78,97	69,71	189,54



**Σχήμα 5.2 :** Διάγραμμα των μέσων μηνιαίων τιμών θερμοκρασίας σε κάθε σταθμό της περιοχής.

### 5.2.2. Σχέση Υψομέτρου - Θερμοκρασίας

Η θερμοκρασία όπως προαναφέρθηκε παίζει καθοριστικό ρόλο στη διαμόρφωση του υδρολογικού ισοζυγίου, ως εκ τούτου είναι εξίσου σημαντικός και ο υπολογισμός της

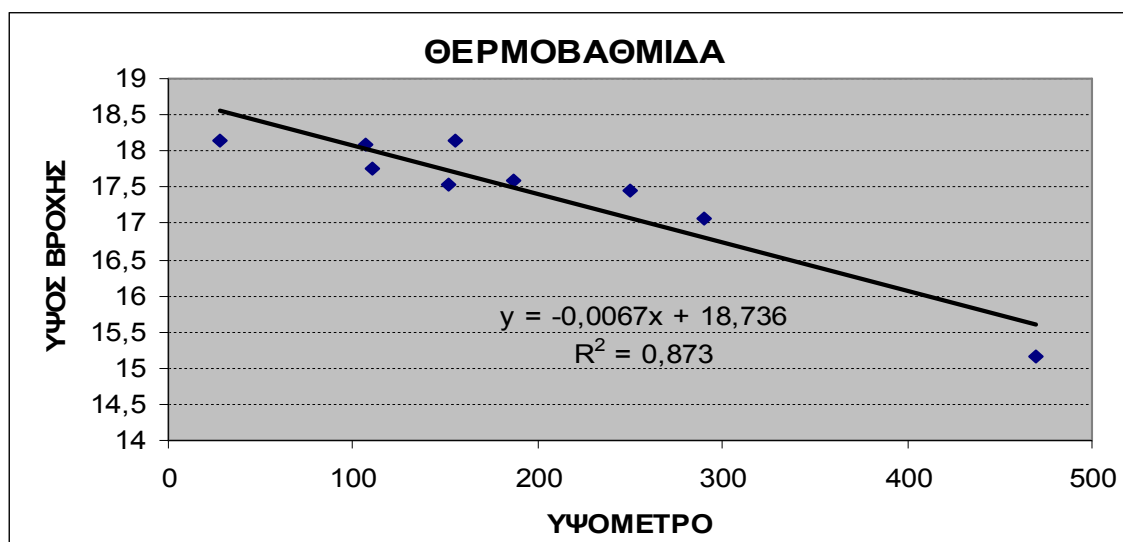
αντιπροσωπευτικής θερμοκρασίας για κάθε υδρολογική λεκάνη.

Ο ρυθμός ελάττωσης της θερμοκρασίας με την αύξηση του υψομέτρου ονομάζεται θερμοβαθμίδα και η εξίσωση που τη χαρακτηρίζει στην περιοχή έρευνας είναι:

$$y = -0,0067x + 18,736 \text{ με συντελεστή προσαρμογής } R^2=0,87 \text{ (σχήμα 5.3)}$$

όπου  $y$  η μέση ετήσια θερμοκρασία και  
 $x$  το απόλυτο υψόμετρο των σταθμών

Η εξίσωση δείχνει ότι η θερμοκρασία μειώνεται κατά 6,7°C ανά 100m υψομετρικής διαφοράς. Οι 9 μετεωρολογικοί σταθμοί που χρησιμοποιήθηκαν για την εξαγωγή της εξίσωσης της θερμοβαθμίδας φαίνονται στον πίνακα 5.3.



Σχήμα 5.3: Διαγραμματική απεικόνιση της σχέσης θερμοκρασίας και απόλυτου υψομέτρου της περιοχής έρευνας

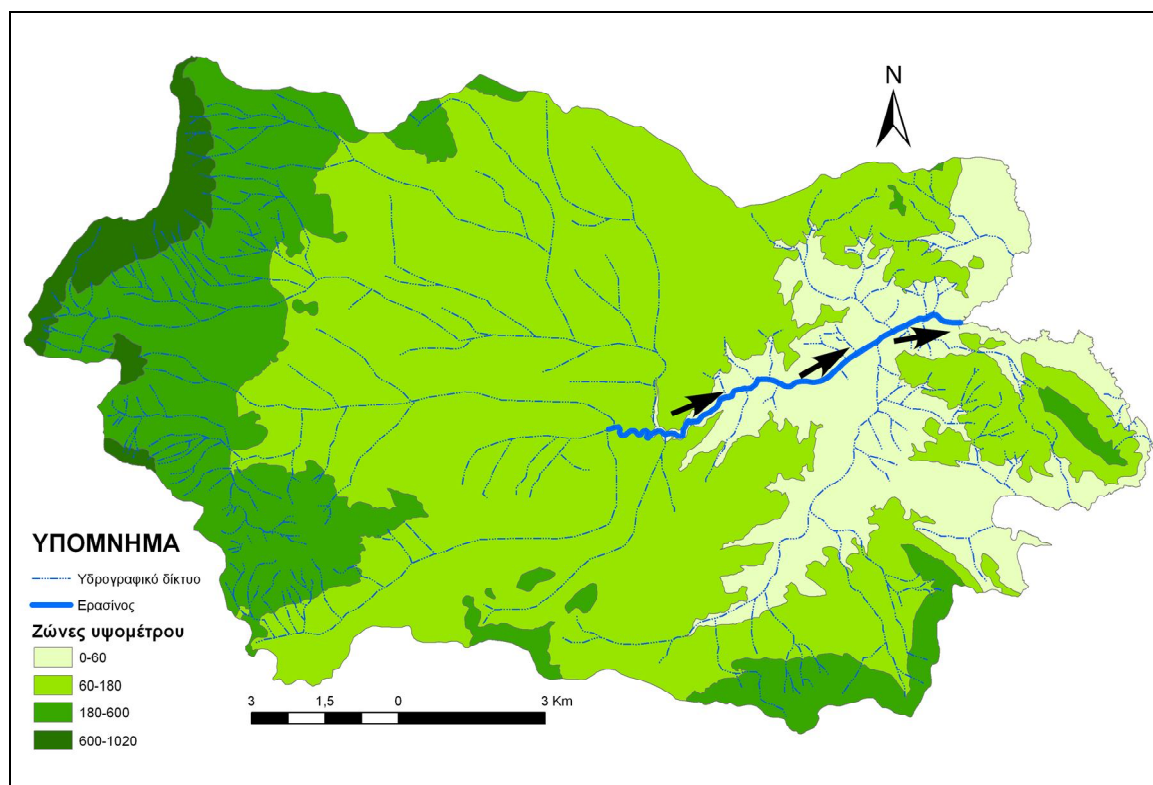
Πίνακας 5.3: Μετεωρολογικοί σταθμοί που χρησιμοποιήθηκαν για την εξαγωγή της θερμοβαθμίδας

ΟΝΟΜΑ ΣΤΑΘΜΟΥ	ΦΟΡΕΑΣ	ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	ΥΨΟΜΕΤΡΟ	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (°C)
ΑΓ.ΠΕΤΡΟΣ	ΑΣΤΕΡΟΣΚΟΠΕΙΟ	2008-2009	470	15,17
ΠΑΙΑΝΙΑ	ΕΜΥ	1972-1983	152	17,525
ΣΠΑΤΑ	ΕΜΥ	1957-2009	28	18,142
ΡΑΦΗΝΑ	ΕΜΥ	1974-1983	4	17,225
ΜΑΡΚΟΠΟΥΛΟ	ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΟ	1999-2009	107	18,1
ΠΑΛΛΗΝΗ	ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΟ	1999-2009	187	17,6
ΚΟΡΩΠΙ	ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΟ	1999-2009	110	17,76
ΓΛΥΚΑ ΝΕΡΑ	ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΟ	1999-2009	250	17,46
ΣΠΑΤΑ	ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΟ	1999-2009	155	18,13

### 5.2.3. Σχέση Υψομέτρου - Θερμοκρασίας λεκάνης Ερασίνου

Η λεκάνη Ερασίνου χωρίστηκε σε 4 υψομετρικές ζώνες, όπως φαίνεται αναλυτικά στον πίνακα 5.4 και στο σχήμα 5.4 για την εφαρμογή της βροχοβαθμίδας και θερμοβαθμίδας.

Η εφαρμογή της βροχοβαθμίδας και θερμοβαθμίδας στη λεκάνη του Ερασίνου έδωσε μέση ετήσια θερμοκρασία 17,52°C, ολικά κατακρημνίσματα 447,55mm κι εξατμισοδιαπνοή 427,2mm (εκτίμηση με τον τύπο του Turc – Πίνακας 5.8).



**Σχήμα 5.4:** Υδρολογική λεκάνη Ερασίνοσ χωρισμένη σε 4 υψομετρικές ζώνες

**Πίνακας 5.4:** Υψομετρικές ζώνες λεκάνησ Ερασίνοσ με τις αντίστοιχες εκτάσεις και ποσοστά κάλυψησ

ΖΩΝΗ	Υψόμετρο (m)	Km <sup>2</sup>	ποσοστό
Α	0-60	33,2	16,37%
Β	60-180	120,9	59,62%
Γ	180-600	43,3	21,35%
Δ	600-1020	5,4	2,66%
	<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>202,8</b>	<b>100%</b>

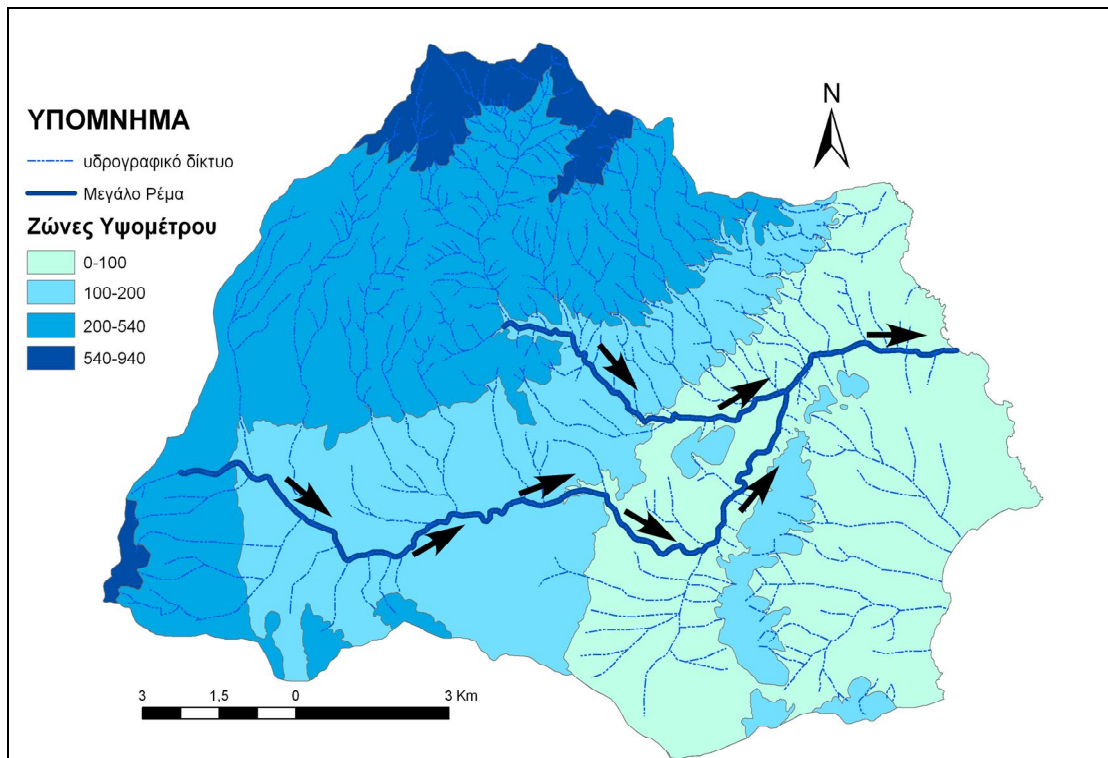
#### 5.2.4. Σχέση Υψόμετρου - Θερμοκρασίασ λεκάνησ Μεγάλου Ρέματοσ

Η λεκάνη του Μεγάλου Ρέματοσ χωρίστηκε επίσης σε 4 υψομετρικές ζώνες, όπως φαίνεται στο σχήμα 5.5 και αναλυτικότερα στον πίνακα 5.5 για την εφαρμογή της βροχοβαθμίδασ και θερμοβαθμίδασ.

Η εφαρμογή της βροχοβαθμίδασ και θερμοβαθμίδασ στη λεκάνη του Μεγάλου Ρέματοσ έδωσε μέση ετήσια θερμοκρασία 17,29°C, ολικά κατακρημνίσματα 472,58mm κι εξατμισοδιαπνοή 445,05mm (εκτίμηση με τον τύπο του Turc- Πίν.5.8).

**Πίνακας 5.5:** Υψομετρικές ζώνες λεκάνησ Μεγ. Ρέματοσ με τις αντίστοιχες εκτάσεις και ποσοστά κάλυψησ

ΖΩΝΗ	Υψόμετρο (m)	Km <sup>2</sup>	Ποσοστό (%)
Α	0-100	52,88	33,05%
Β	100-200	47,79	29,87%
Γ	200-540	51,83	32,39%
Δ	540-940	7,5	4,69%
	<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>160</b>	<b>100%</b>



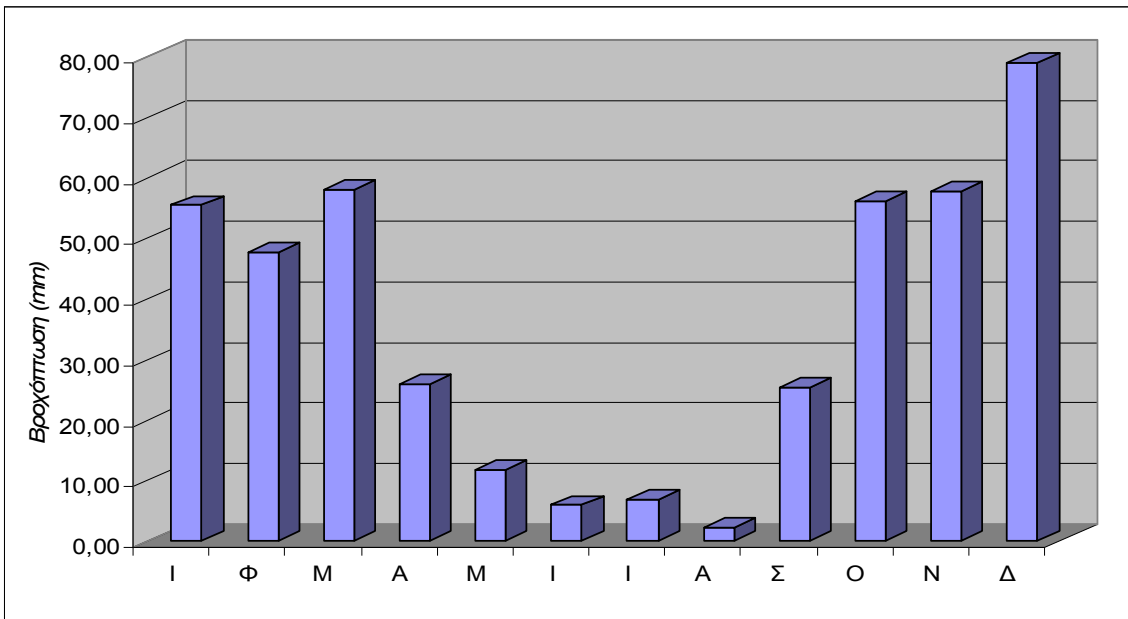
Σχήμα 5.5: Υδρολογική λεκάνη Μεγάλου Ρέματος χωρισμένη σε 4 υψομετρικές ζώνες

### 5.2.5. Ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα

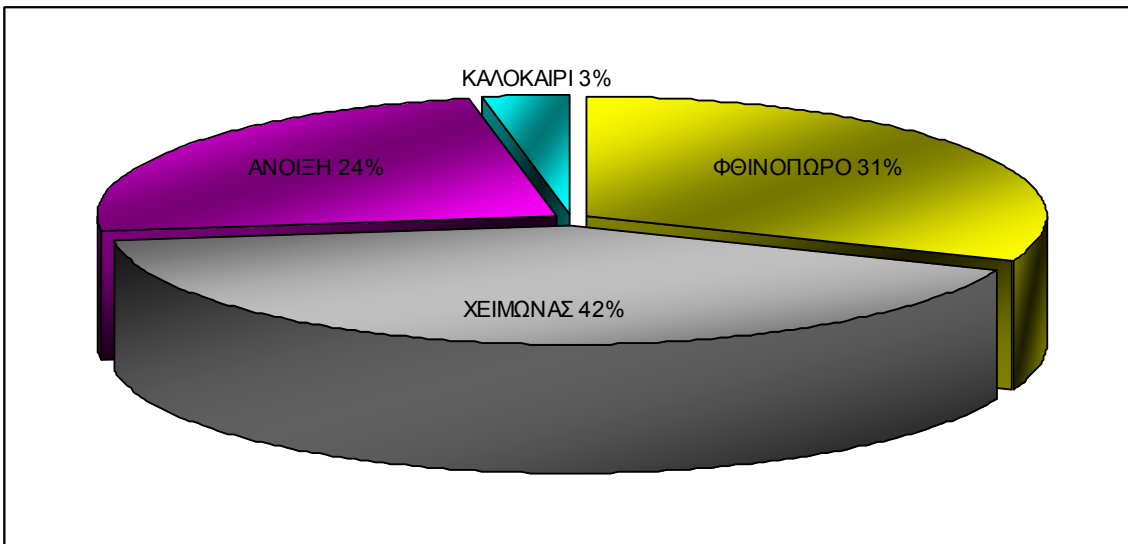
Τα υδατώδη ατμοσφαιρικά αποβλήματα ή κατακρημνίσματα είναι οι διάφορες μορφές νερού, σε στερεή ή υγρή φάση που πέφτουν στην ατμόσφαιρα και απολήγουν τελικά στην επιφάνεια του εδάφους. Ο "υετός" είναι η μετρήσιμη ποσότητα νερού των κατακόρυφων ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων (βροχή, χιόνι, χαλάζι κλπ.). Ο υετός μετράται σε mm κι αντιστοιχεί σε ποσότητα νερού (Kg) που πέφτει σε επιφάνεια  $1m^2$  (Φλόκας, 1994).

Η ετήσια πορεία της βροχής στην περιοχή έρευνας ακολουθεί το Μεσογειακό τύπο κατά τον οποίο το μέγιστο και το ελάχιστο ύψος βροχής σημειώνεται κατά το χειμώνα και το θέρος αντίστοιχα (Φλόκας, 1994).

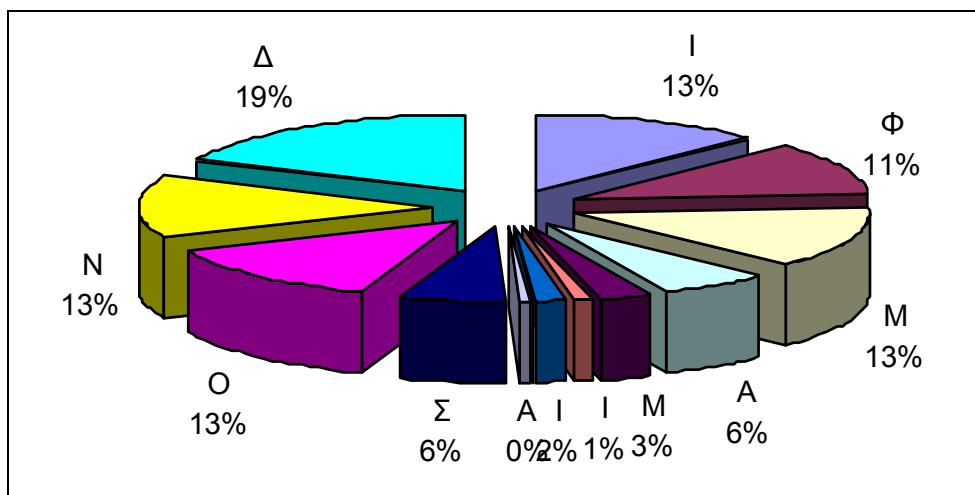
Στον πίνακα 5.2 παρουσιάζονται οι μέσες μηνιαίες τιμές υετού όλων των εξεταζομένων μετεωρολογικών σταθμών. Το ραβδόγραμμα των μέσων μηνιαίων τιμών βροχόπτωσης όλων των σταθμών παρουσιάζεται στο σχήμα 5.6, απεικονίζοντας την ακανόνιστη κατανομή της βροχής τους χειμερινούς και ανοιξιάτικους μήνες με τους πλέον ξηρούς μήνες να είναι ο Μάιος και κυρίως οι καλοκαιρινοί μήνες Ιούνιος, Ιούλιος και Αύγουστος. Το μέγιστο ποσοστό βροχής παρατηρείται το χειμώνα (σχήμα 5.7) και κυρίως το μήνα Δεκέμβριο (σχήματα 5.6 και 5.7). Το μέσο ετήσιο ύψος βροχής για όλους τους σταθμούς που εξετάστηκαν ανέρχεται στα 431,42mm. Τα κατακρημνίσματα παρουσιάζουν πολύ χαμηλές τιμές, ιδιαίτερα τους καλοκαιρινούς μήνες, συμβάλλοντας αρνητικά στην πλήρωση των υπόγειων νερών.



Σχήμα 5.6: Ραβδόγραμμα μέσων μηνιαίων τιμών βροχόπτωσης



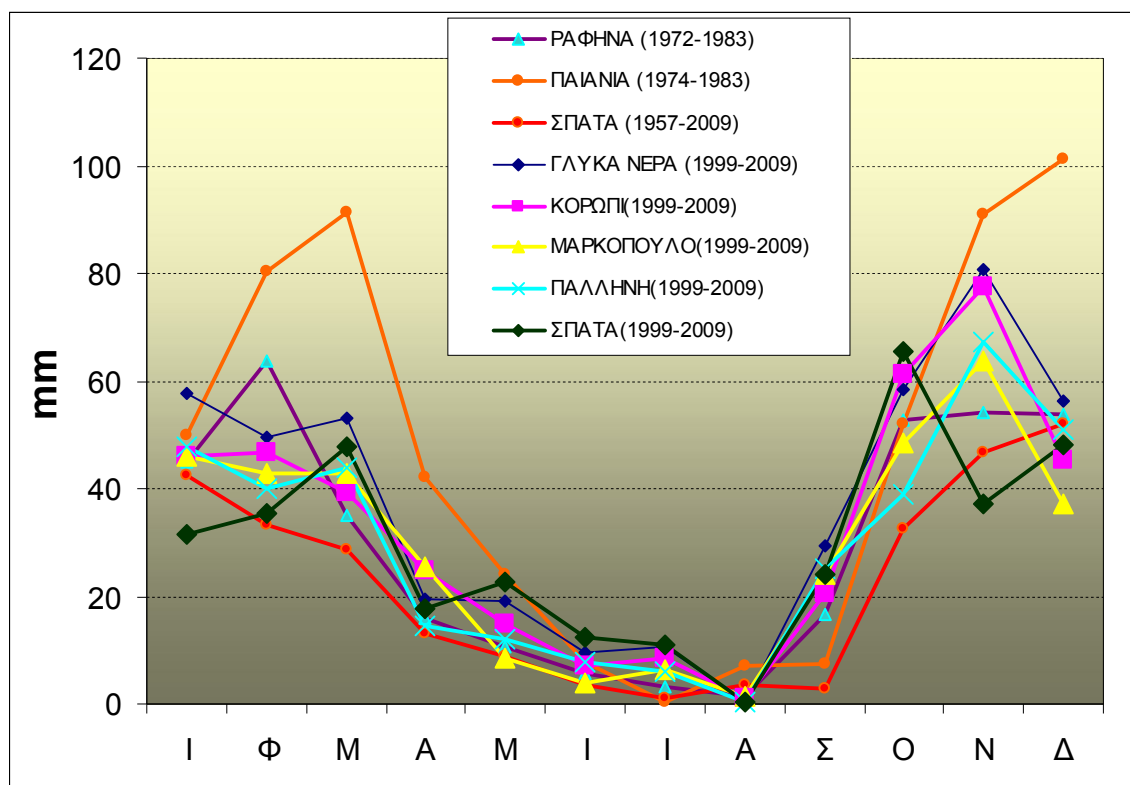
Σχήμα 5.7: Γραφική απεικόνιση της ποσοστιαίας αναλογίας του ετήσιου νετού ανά εποχή



Σχήμα 5.8: Γραφική απεικόνιση της μηνιαίας ποσοστιαίας αναλογίας του ετήσιου νετού

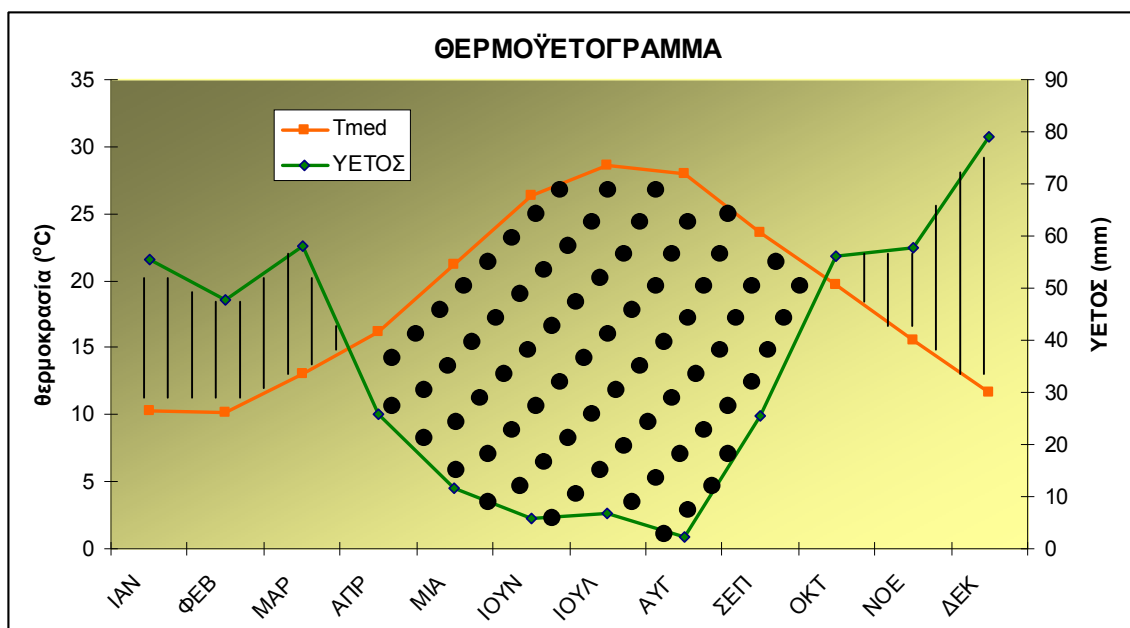


Στο σχήμα 5.9 παρουσιάζεται η ετήσια κατανομή υετού (μέσες μηνιαίες τιμές κάθε σταθμού με πολυετή δεδομένα). Από το σχήμα αυτό παρατηρούμε τους σταθμούς υψηλότερου υψομέτρου να παρουσιάζουν υψηλότερες τιμές υετού.



Σχήμα 5.9: Διάγραμμα των μέσων μηνιαίων τιμών υετού σε κάθε σταθμό της περιοχής (για τους σταθμούς με πολυετή δεδομένα)

Από την επεξεργασία των δεδομένων (μέσοι όροι υετού και μέσης θερμοκρασίας  $T_{med}$  όλων των σταθμών) προέκυψε το θερμοϋετογράμμα του σχήματος 5.10, το οποίο παρουσιάζει το γενικό κλίμα που επικρατεί στην ευρύτερη περιοχή.



Σχήμα 5.10: Θερμοϋετογράμμα με δεδομένα μηνιαίο μέσο όρο υετού και θερμοκρασίας  $T_{med}$  όλων των εξεταζόμενων μετεωρολογικών σταθμών.

Διαπιστώνεται πως η υγρή περίοδος διαρκεί από τα μέσα Οκτωβρίου έως και τις αρχές Απριλίου με μέσο ύψος νετού από 39 έως 80mm. Η έναρξη της ξηρής περιόδου σημειώνεται στις αρχές του Απρίλη και διαρκεί για περίπου 6 μήνες με μέση ύψη νετού που δεν ξεπερνούν τα 39mm. Το ξηροθερμικό κλίμα της περιοχής με χαμηλό ύψος νετού και υψηλές θερμοκρασίες κατά την ξηρή περίοδο παρουσιάζεται έντονα στο παραπάνω θερμοϋετόγραμμα.

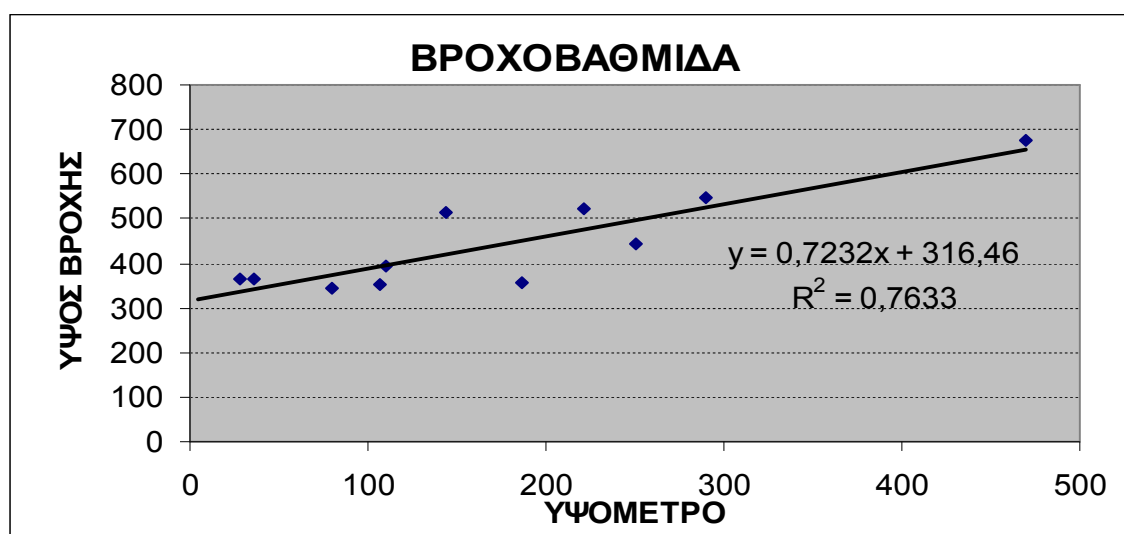
### 5.2.6. Σχέση Υψομέτρου – Βροχόπτωσης

Εξετάζοντας τα δεδομένα ύψους βροχής της περιοχής έρευνας, παρατηρούμε πως, με εξαίρεση το σταθμό της Ραφήνας, τα χιλιοστόγραμμα νετού αυξάνονται με το υψόμετρο ακολουθώντας γραμμική σχέση με τύπο:

$$y = 0,7232x + 316,46 \text{ και με συντελεστή προσαρμογής } R^2=0,76 \text{ (σχήμα 5.11)}$$

όπου  $y$  το μέσο ετήσιο ύψος βροχής και

$x$  το απόλυτο υψόμετρο των σταθμών



Σχήμα 5.11: Διαγραμματική απεικόνιση της σχέσης ύψους βροχής και απόλυτου υψομέτρου της περιοχής έρευνας

Πίνακας 5.6: Μετεωρολογικοί σταθμοί που χρησιμοποιήθηκαν για την εξαγωγή της βροχοβαθμίδας

ΟΝΟΜΑ ΣΤΑΘΜΟΥ	ΦΟΡΕΑΣ	ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	ΥΨΟΜΕΤΡΟ	ΥΕΤΟΣ (mm)
ΣΠΑΤΑ	ΑΣΤΕΡΟΣΚΟΠΕΙΟ	2008-2009	144	512,2
ΜΑΡΚΟΠΟΥΛΟ	ΑΣΤΕΡΟΣΚΟΠΕΙΟ	2006-2009	80	346
ΚΑΝΤΖΑ	ΑΣΤΕΡΟΣΚΟΠΕΙΟ	2008-2009	221	522
ΠΟΡΤΟ ΡΑΦΤΗ	ΑΣΤΕΡΟΣΚΟΠΕΙΟ	2008-2009	36	363,75
ΑΓ.ΠΕΤΡΟΣ	ΑΣΤΕΡΟΣΚΟΠΕΙΟ	2008-2009	470	673,6
ΚΗΦΙΣΙΑ	ΑΣΤΕΡΟΣΚΟΠΕΙΟ	2008-2009	290	545,3
ΠΑΙΑΝΙΑ	ΕΜΥ	1972-1983	152	365,7
ΜΑΡΚΟΠΟΥΛΟ	ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΟ	1999-2009	107	351,08
ΠΑΛΛΗΝΗ	ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΟ	1999-2009	187	354,9
ΚΟΡΩΠΗ	ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΟ	1999-2009	110	392,86
ΓΛΥΚΑ ΝΕΡΑ	ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΟ	1999-2009	250	444,46

Η εξίσωση ερμηνεύεται πως το ύψος βροχόπτωσης αυξάνεται στην περιοχή έρευνας κατά 72,32mm ανά 100m υψομετρικής διαφοράς.



Η εξίσωση αυτή ονομάζεται εξίσωση βροχοβαθμίδας και θα χρησιμοποιηθεί για την αντιπροσωπευτική απόδοση του ύψους βροχής κάθε υδρολογικής λεκάνης. Για την εξαγωγή της βροχοβαθμίδας χρησιμοποιήθηκαν οι 11 μετεωρολογικοί σταθμοί του πίνακα 5.6.

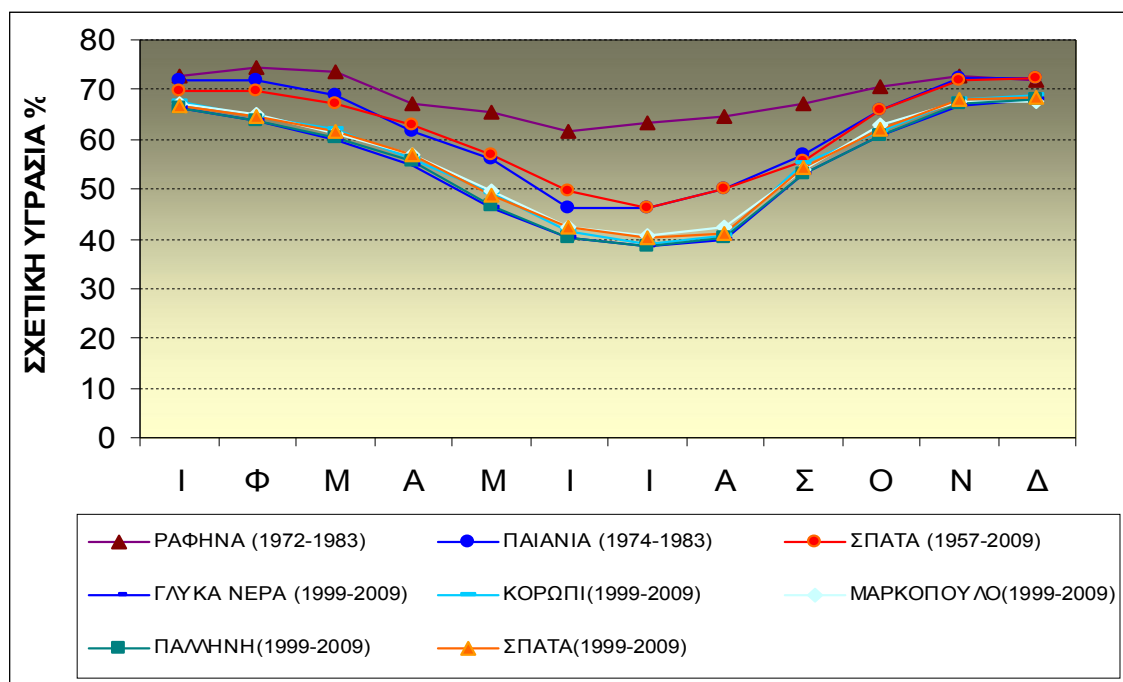
### 5.2.7 Σχετική Υγρασία (RH)

Η σχετική υγρασία RH του ατμοσφαιρικού αέρα ορίζεται ο λόγος της μάζας των υδρατμών που περιέχεται σε δεδομένο όγκο υγρού αέρα  $m_v$ , προς τη μάζα των υδρατμών  $m_{sv}$  που θα περιείχε ο όγκος αυτός αν υπό τις ίδιες συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας ήταν κορεσμένος με υδρατμούς (Φλόκας, 1994), δηλαδή:

$$RH = \frac{m_v}{m_{sv}}$$

Η σχετική υγρασία δείχνει κατά πόσο η ατμόσφαιρα πλησιάζει το σημείο κορεσμού. Η σημασία της είναι σπουδαία διότι οι διάφοροι οργανισμοί επηρεάζονται απ' τη σχετική κι όχι απ' την απόλυτη υγρασία (Φλόκας, 1994).

Η σχετική υγρασία σε όλη την περιοχή κυμαίνεται από 44% έως 70% με μέσο όρο 59% (πίνακας 5.2, σχήμα 5.12). Οι τιμές παρουσιάζουν ομοιότητες σε όλη την περιοχή, με εξαίρεση την περιοχή της Ραφήνας που επηρεάζεται άμεσα από την θάλασσα και τα κοντινά πρανή της Πεντέλης, με αποτέλεσμα να παρουσιάζει αυξημένες τιμές σχετικής υγρασίας (σχήμα 5.12). Ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι τιμές σχετικής υγρασίας των τελευταίων 10 ετών (σταθμοί Διεθνούς Αερολιμένα Αθηνών: Γλυκά Νερά, Σπάτα, Κορωπί, Παλλήνη και Μαρκόπουλο) που είναι κατά 5% μικρότερες συγκριτικά με τιμές περασμένων ετών. Η μείωση της σχετικής υγρασίας συντελείται προφανώς από την αύξηση της θερμοκρασίας των τελευταίων ετών (Tzanakou and Deligiorgi, 2006).



Σχήμα 5.12: Διάγραμμα μέσων μηνιαίων τιμών σχετικής υγρασίας

### 5.3 Εξατμισοδιαπνοή

Η πραγματική εξατμισοδιαπνοή (ET) ορίζεται ως ο συνδυασμός της εξάτμισης και της διαπνοής, της διαφυγής δηλαδή υδρατμών από τα φύλλα της υπάρχουσας βλάστησης κι εμπλουτισμού της ατμόσφαιρας με αυτούς. Επειδή ο διαχωρισμός της απευθείας

εξατμισοδιαπνοής μιας εδαφικής μάζας με την εξατμισοδιαπνοή μέσω της διαπνοής των φυτών είναι δύσκολος, οι δύο έννοιες αποτελούν ενιαίο σύνολο κι υπεισέρχονται στον γενικότερο όρο εξατμισοδιαπνοή (ET). Η εξατμισοδιαπνοή αναφοράς (ET<sub>o</sub>) ορίζεται ως η εξάτμιση μιας εκτεταμένης επιφάνειας μικρού ύψους πράσινης βλάστησης (όπως είναι το γρασίδι), που σκιάζει απόλυτα το έδαφος, ενιαίου ύψους και με πλήρη επάρκεια νερού, συνεπώς αντιπροσωπεύει το μέγιστο της δυνατής απώλειας νερού λόγω εξάτμισης από μια φυτοκαλυμμένη περιοχή (Φλόκας, 1994).

Η μέγιστη εξατμισοδιαπνοή μιας καλλιέργειας (ET<sub>c</sub>) μπορεί να υπολογιστεί βάσει της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς πολλαπλασιαζόμενη με τον συντελεστή φυτικής καλλιέργειας K<sub>c</sub>, δηλαδή ET<sub>c</sub> = K<sub>c</sub> · ET<sub>o</sub>. Ο συντελεστής K<sub>c</sub> διαφοροποιείται με τα ειδικά χαρακτηριστικά μιας καλλιέργειας κι εξαρτάται από το φυτικό είδος, το στάδιο ανάπτυξης, την ταχύτητα του ανέμου στα 2m και την ελάχιστη σχετική υγρασία (RH<sub>min</sub>) που συνήθως παρατηρείται το μεσημέρι (FAO, 1986).

Για τη βέλτιστη εκτίμηση της εξατμισοδιαπνοής εφαρμόστηκαν τέσσερις διαφορετικοί τύποι, του Thornwaite (Thornwaite 1948, Thornwaite & Mather 1957), των Hargreaves & Samani (Hargreaves & Samani 1982, Hargreaves et al. 1985), του Turc (Turc, 1961) και τέλος των Burdon & Παπάκης (Burdon & Papakis, 1963).

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για τους Thornwaite (1948) και Hargreaves & Samani (1982), είναι μηνιαία, εξάγοντας την τελική εξατμισοδιαπνοή ως το άθροισμα των επιμέρους μηνιαίων τιμών. Πιο συγκεκριμένα, στον τύπο των Thornwaite (1948) οι μηνιαίες τιμές της μέσης θερμοκρασίας προέκυψαν με εξίσωση θερμοβαθμίδας για κάθε μήνα ξεχωριστά. Στον τύπο των Hargreaves & Samani (1982) χρησιμοποιήθηκαν τα μηνιαία δεδομένα της ακτινοβολίας Ra από τους 5 σταθμούς του Διεθνούς Αερολιμένα Αθηνών, για το χρονικό διάστημα Οκτώβριος 2005 έως Σεπτέμβριος 2006. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στην εφαρμογή των 2 προαναφερθέντων τύπων φαίνονται στον πίνακα 5.7.

**Πίνακας 5.7:** Τιμές Ra (μέσοι όροι 5 Μετεωρολογικών σταθμών Αερολιμένα Αθηνών), μέσες τιμές μέσης μέγιστης T<sub>max</sub> και μέσης ελάχιστης T<sub>min</sub> θερμοκρασίας (μέσοι όροι όλων των σταθμών) και τιμές μέσης θερμοκρασίας T<sub>med</sub> (από εφαρμογή θερμοβαθμίδας για κάθε λεκάνη).

ΜΗΝΑΣ	Ra (mm/day)	T <sub>max</sub> (°C)	T <sub>min</sub> (°C)	ΛΕΚΑΝΗ ΕΡΑΣΙΝΟΥ	ΛΕΚΑΝΗ ΜΕΓΑΛΟΥ ΡΕΜΑΤΟΣ
				T <sub>med</sub> (°C) (θερμοβαθμίδα)	T <sub>med</sub> (°C) (θερμοβαθμίδα)
1	96,73	16,65	2,79	7,25	5,63
2	129,79	17,30	1,44	7,91	6,61
3	195,69	21,35	4,84	10,07	8,43
4	244,07	23,98	7,23	13,88	12,44
5	350,47	29,56	11,44	19,42	18,39
6	355,98	33,98	16,34	23,9	22,36
7	358,96	35,87	19,85	25,86	24,24
8	329,03	34,58	19,66	25,14	23,6
9	229,00	31,91	14,82	22,03	20,85
10	173,17	27,08	11,17	17,32	15,89
11	100,72	22,60	7,05	12,03	10,2
12	92,03	18,30	3,69	9,39	8,11

Για τον τύπο των Burdon & Παπάκης (1963) ελήφθησαν οι μέσοι μηνιαίοι όροι όλων των σταθμών της περιοχής έρευνας, συμπεριλαμβανομένων και των σταθμών Κηφισιά και Αγ. Πέτρος (Πίνακας 5.8). Για τον τύπο του Turc (1961) εφαρμόστηκε με απόλυτη λεπτομέρεια η μέθοδος της θερμοβαθμίδας και βροχοβαθμίδας, όπως αναφέρθηκαν στα κεφάλαια 5.2.3 και 5.2.4 για τη λεκάνη Ερασίνου και Μεγάλου Ρέματος αντίστοιχα.

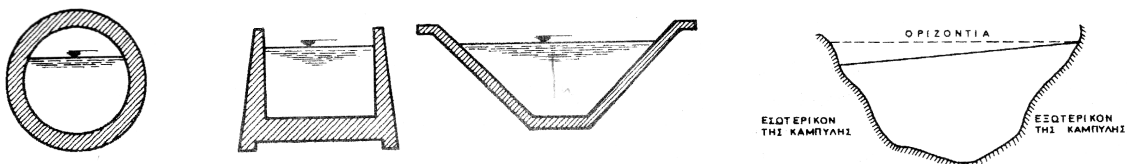
**Πίνακας 5.8:** Μέθοδοι εκτίμησης εξατμισοδιαπνοής για κάθε εμπειρικό τύπο στη λεκάνη Ερασίνου και στη λεκάνη Μεγάλου Ρέματος

ΜΕΘΟΔΟΣ	ΤΥΠΟΣ	ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗ ΕΤ (mm)	
		Λεκάνη Ερασίνου	Λεκάνη Μεγάλου Ρέματος
THORNWAITE	$ET=1,6 (10 Ti/I)^{\alpha}$ $\alpha = 6,75 \cdot 10^{-7} \cdot I^3 - 7,71 \cdot 10^{-5} \cdot I^2 + 0,01792 \cdot I + 0,49239$ $I = \sum_1^{12} i$ , $i = \left( \frac{Ti}{5} \right)^{1,514}$	530,11	634,55
HAGREAVES & SAMANI	$ET=0,0023 \bullet Ra \bullet \sqrt{(T_{\max}-T_{\min})} \bullet (T_{med}+17,8)$	907,7	872,3
TURC	$ET = \frac{P}{\sqrt{0,9 + \frac{P^2}{L^2}}}$ $L = 300 + 25T + 0,05T^3$	427,2	445,05
BURDON & ΠΑΠΑΚΗΣ	$ET = \frac{P(Οκτ. - Μάρτ.)}{2} + P(Απρ. - Σεπτ.)$ για κατακρημνίσματα από 250mm-1000mm	254,50	254,50

#### 5.4 Επιφανειακή απορροή

Ο όγκος νερού που απορρέει επιφανειακά από μια λεκάνη απορροής ονομάζεται επιφανειακή απορροή και λαμβάνει χώρα μέσω των φυσικών υδάτινων ρεμάτων ή αλλιώς ποταμών. Η ροή των ποταμών παρουσιάζει ελεύθερη επιφάνεια (ανοικτοί αγωγοί). Τα φυσικά υδάτινα ρεύματα θεωρούνται ανομοιόμορφοι αγωγοί καθώς η διεύθυνση, η εγκάρσια διατομή, η κατά μήκος κλίση του πυθμένα και η τραχύτητά τους διαφοροποιούνται κατά μήκος του ρέματος. Οι κύριες μορφές των διατομών των ανοικτών αγωγών (σχήμα 4.13) είναι:

1. ο κυκλικός
2. ο ορθογώνιος
3. ο τραπεζοειδής
4. ο ανομοιόμορφος
- 5.



**Σχήμα 5.13:** Κύριες διατομές ανοικτών αγωγών (Καρακατσούλης, 1981)

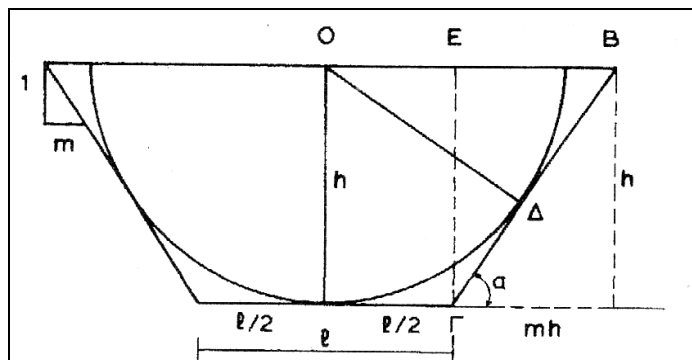
Για να βρούμε τον όγκο του υγρού που διέρχεται στην μονάδα του χρόνου (παροχή) χρησιμοποιήσαμε τον γνωστό τύπο:

$$V = \frac{Q}{S}$$

όπου  $Q$  η παροχή,  $V$  η μέση ταχύτητα του υδατορεύματος και  $S$  η βρεχόμενη επιφάνεια.

Η δειγματοληψία των επιφανειακών υδάτων ξεκίνησε τον Οκτώβριο του 2005. Η παροχή στις εκβολές των δύο κυρίων ρεμάτων της περιοχής, Ερασίνο (Βραυρώνα) και Ρέμα Ραφήνας μετρούταν με μιλίσκο και ταυτόχρονη μέτρηση της διατομής στο συγκεκριμένο σημείο μέτρησης. Οι μετρήσεις της παροχής γίνονταν τέσσερις φορές το μήνα επί ένα έτος. Για διευκόλυνση στους υπολογισμούς, θεωρήσαμε την ανομοιόμορφη διατομή των εκβολών του Ερασίνου και του Μεγάλου Ρέματος ως τραπεζοειδή (σχήμα 5.14). Ο τύπος που μας δίνει τη βρεχόμενη επιφάνεια στην τραπεζοειδή διατομή είναι:

$$S = h \cdot l + mh^2$$



Σχήμα 5.14: Τραπεζοειδής διατομή

Ωστόσο, επειδή πάντοτε το  $h$  ήταν πολύ μικρό, το  $mh^2$  τείνει στο μηδέν συνεπώς ο τύπος γίνεται:

$$S = h \cdot l$$

και καταλήγουμε να θεωρήσουμε τη διατομή σαν ορθογωνική.

Άρα ο όγκος του νερού θα δίνεται απ' τον τύπο:

$$Q = V \cdot S \Rightarrow Q = V \cdot h \cdot l$$

Όπου

$V$ : η μετρημένη με μιλίσκο μέση ταχύτητα του νερού (μετατροπόμενη από ft/sec σε m/sec)

$h$ : το ύψος νερού (βάθος του ποταμού) σε m και

$l$ : το πλάτος του ποταμού που κατακλύζεται με νερό σε m.

Τα  $h$  και  $l$  μετρήθηκαν επί τόπου.

Οι εβδομαδιαίες μετρήσεις της παροχής για το διάστημα από Σεπτέμβριο 2005 έως Οκτώβριο 2006 φαίνονται στον πίνακα VI του παραρτήματος. Στον ίδιο πίνακα εμφανίζεται για το ίδιο χρονικό διάστημα, το ημερήσιο ύψος βροχής, βασισμένο στο μέσο όρο των ημερήσιων κατακρημνισμάτων των 5 μετεωρολογικών σταθμών του Διεθνούς Αερολιμένα Αθηνών.

#### 5.4.1 Επιφανειακή απορροή λεκάνης Ερασίνου

Στο διάγραμμα του σχήματος 5.15 φαίνεται ο συνδυασμός των εβδομαδιαίων μετρήσεων παροχής της εκβολής με τα αντίστοιχα ημερήσια κατακρημνίσματα (μέσοι

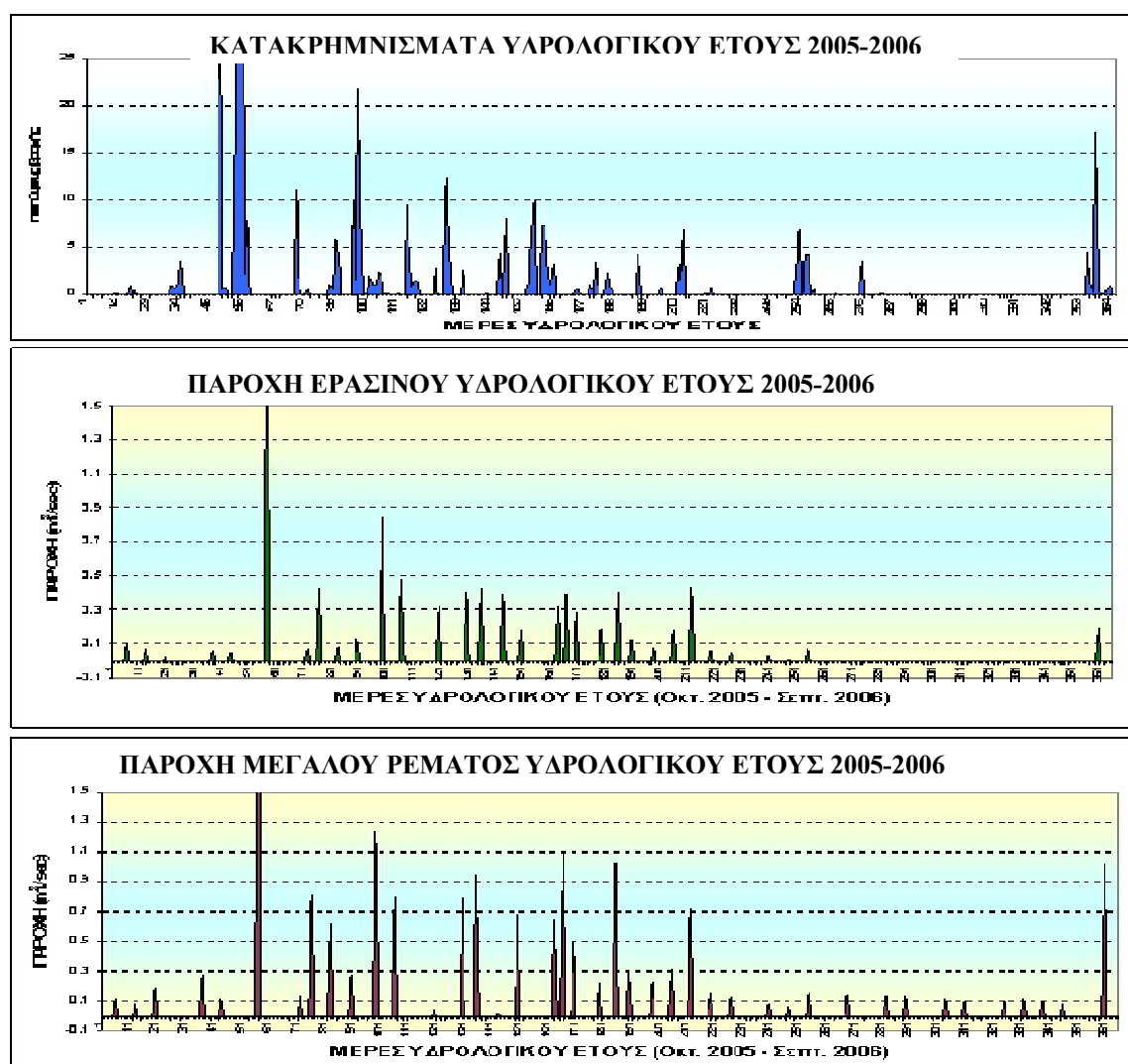
όροι) στη λεκάνη απορροής του Ερασίνου, βασισμένα στις μετρήσεις των σταθμών του Διεθνούς Αερολιμένα Αθηνών: Σπάτα, Μαρκόπουλο, Γλυκά Νερά, Παλλήνη και Κορωπί (πίνακας VI του παραρτήματος).

Αθροίζοντας τις εβδομαδιαίες μετρήσεις της παροχής στον ποταμό Ερασίνο προέκυψε το συνολικό ύψος επιφανειακής απορροής της λεκάνης  $R = 56,5\text{mm}$ .

#### 5.4.2 Επιφανειακή απορροή λεκάνης Μεγάλου Ρέματος

Στο διάγραμμα του σχήματος 5.15 φαίνεται ο συνδυασμός των εβδομαδιαίων μετρήσεων παροχής της εκβολής του Μεγάλου Ρέματος με τα αντίστοιχα ημερήσια κατακρημνίσματα (μέσοι όροι) στην ομώνυμη λεκάνη απορροής, βασισμένα στις μετρήσεις των σταθμών του Διεθνούς Αερολιμένα Αθηνών: Σπάτα, Μαρκόπουλο, Γλυκά Νερά, Παλλήνη και Κορωπί (πίνακας VI του παραρτήματος).

Αθροίζοντας τις εβδομαδιαίες μετρήσεις της παροχής στην εκβολή του Ρέματος Ραφήνας προέκυψε το συνολικό ύψος επιφανειακής απορροής της λεκάνης  $R = 121,4\text{mm}$ , αρκετά μεγαλύτερο από την αντίστοιχη τιμή απορροής της γειτονικής λεκάνης Ερασίνου. Οι διαφοροποιήσεις έγκεινται στο ότι ο Ερασίνος ήταν ξερός κατά τους θερινούς μήνες και η παροχή του Μεγάλου Ρέματος ήταν πολλές φορές τριπλάσια αυτής του Ερασίνου.



Σχήμα 5.15: Διαγραμματική απεικόνιση εβδομαδιαίων μετρούμενων παροχών στον Ερασίνο και το Μεγάλο Ρέμα με τα αντίστοιχα ημερήσια κατακρημνίσματα (μέσος όρος 5 Μετεωρολογικών σταθμών Αερολιμένα Αθηνών)

## 5.5. Κατείδυση

Ο όγκος νερού που απομακρύνεται από μια λεκάνη απορροής μέσω του εδάφους ονομάζεται κατείδυση (I). Είναι μια σημαντική παράμετρος του υδρολογικού ισοζυγίου και συνήθως προκύπτει ως η διαφορά των υπολοίπων παραμέτρων απ' το συνολικό όγκο νερού που εισέρχεται στη λεκάνη απορροής.

Σύμφωνα με μελέτες, μπορούμε να εκτιμήσουμε την κατείδυση με βάση τη γεωλογία της περιοχής, βάσει του όγκου νερού που διαπερνά καθένα απ' αυτούς. Εξετάζοντας τους υπολογισμούς διαφόρων ερευνητών (Σούλιος 1975, Λαμπράκης 1989, Καραπάνος 2005, Σταυρόπουλος 1992, Βουδούρης 1995, Μάστορης 1967, Κάντας & Τηνιακός 1988, Γιαννάτος 1999, Κακαβάς 1995, Μαρίνος 1975, Καλλέργης & Χριστοδούλου 1972) καταλήξαμε στην εφαρμογή των ποσοστών κατείδυσης του πίνακα 5.9, επιλέγοντας το μέσο όρο των σχηματισμών που παρουσιάζουν ομοιότητες με αυτούς της περιοχής έρευνας. Έτσι στους τεταρτογενείς σχηματισμούς κατείδυει περίπου το 18% των κατακρημνισμάτων, στους νεογενείς το 13%, στους σχιστόλιθους το 5%, στους ανθρακικούς του Κρητιδικού το 40% και στους ανθρακικούς του Ιουρασικού και Τριαδικού το 30%.

Εμβαδομετρώντας σε λογισμικό πρόγραμμα Arc-GIS τους γεωλογικούς σχηματισμούς στη λεκάνη του Ερασίνου και του Μεγάλου Ρέματος αντίστοιχα έχουμε τα αποτελέσματα του πίνακα 5.9, απ' όπου προκύπτει συνολικό ύψος νερού που κατείδυει στη λεκάνη του Ερασίνου 95,6mm και στη λεκάνη του Μεγάλου Ρέματος 67,5mm.

**Πίνακας 5.9:** Ποσοστά κατείδυσης στους γεωλογικούς σχηματισμούς της λεκάνης Ερασίνου και Μεγάλου Ρέματος

ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ	Λεκάνη Ερασίνου			Λεκάνη Μεγ. Ρέματος		
	km <sup>2</sup>	(%)	Ποσοστό κατείδυσης	km <sup>2</sup>	(%)	Ποσοστό κατείδυσης
Σχιστόλιθοι/ φυλλίτες	4,8	3,4	5%	22,25	13,88	5%
Τεταρτογενείς σχηματισμοί	92,3	45	18%	64,97	40,53	18%
Νεογενείς σχηματισμοί	42,4	20,4	13%	60,85	37,96	13%
Ανθρακικά Κρητιδικού	7,5	3,7	40%	2,56	1,60	40%
Ανθρακικά Ιουρασικού-Τριαδικού	55,8	27,5	30%	9,4	5,86	30%
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>202,8</b>	<b>100</b>		<b>160</b>	<b>100</b>	
	<b>I = 95,6mm</b>			<b>I=67,5mm</b>		

Και στις δύο λεκάνες το μεγαλύτερο ποσοστό γεωλογικών σχηματισμών αποτελούν οι τεταρτογενείς σχηματισμοί με μέσο ποσοστό κατείδυσης 18% επί του συνολικού ύψους νερού. Στη λεκάνη Ερασίνου παρατηρείται επίσης μεγάλη έκταση με Ανθρακικά του Ιουρασικού –Τριαδικού (55,8 km<sup>2</sup>) που έχουν υψηλό ποσοστό κατείδυσης (30%) ενώ στη λεκάνη Μεγάλου Ρέματος η αντίστοιχη έκταση δεν ξεπερνά τα 10 km<sup>2</sup>.

Τα δεδομένα του πίνακα 5.9 σε συνδυασμό με την εκτίμηση και τον υπολογισμό των άλλων παραμέτρων του υδρολογικού ισοζυγίου θα χρησιμοποιηθούν για την αξιοπιστία του υδρολογικού ισοζυγίου κάθε λεκάνης.

## 5.6 Υδρολογικό ισοζύγιο

Ο κύκλος του νερού μέσα στα φυσικά συστήματα περιγράφεται από τη μαθηματική έκφραση:

$$P = R + ET + I + \Delta W + \Delta q + Q \quad (\text{Dingman 1994, Shiklomanov \& Sokolov 1983})$$

Όπου

P = τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα

R = η επιφανειακή απορροή

ET = η πραγματική εξατμισοδιαπνοή

I = η κατείσδυση

ΔW = η διαφορική αποθήκευση νερού στη γη

Δq = οι προσφορές κι οι απολείψεις νερού από ανθρωπογενείς παρεμβάσεις και

Q = η εξωτερική τροφοδοσία του υδρολογικού συστήματος

Θεωρώντας ότι οι υδρολογικές λεκάνες αποτελούν αυτοτελή συστήματα και ότι οι ανθρώπινες παρεμβάσεις και οι μεταβολές των υπόγειων αποθεμάτων είναι αμελητέες, οι παράγοντες της παραπάνω εξίσωσης ΔW, Δq και Q θεωρούνται μηδενικές κι έτσι η εξίσωση του υδρολογικού ισοζυγίου παίρνει τη μορφή:

$$P = R + ET + I$$

Για την εξέταση του υδρολογικού ισοζυγίου στις δύο λεκάνες απορροής της περιοχής έρευνας, πήραμε σαν δεδομένα την επιφανειακή απορροή που προέκυψε από εβδομαδιαίες μετρήσεις της παροχής με μιλίσκο στην εκβολή των δύο αντίστοιχων ποταμών και τα κατακρημνίσματα λαμβάνοντας τα κλιματικά δεδομένα των όμορων μετεωρολογικών σταθμών. Στην πρώτη περίπτωση υπολογίστηκε η εξατμισοδιαπνοή βάσει διαφόρων εμπειρικών τύπων και στη δεύτερη περίπτωση υπολογίστηκε η κατείσδυση, βάσει του ποσοστού των γεωλογικών σχηματισμών. Σε κάθε περίπτωση, η κατείσδυση κι η εξατμισοδιαπνοή προέκυψε ως η διαφορά των υπολοίπων παραμέτρων από το συνολικό ύψος κατακρημνισμάτων.

### 5.6.1 Υδρολογικό ισοζύγιο Λεκάνης Ερασίνου

Εφαρμόζοντας στη σχέση του υδρολογικού ισοζυγίου της λεκάνης Ερασίνου τις τιμές εξατμισοδιαπνοής που εκτιμήθηκαν στο κεφάλαιο 5.3, την τιμή ολικής απορροής που υπολογίστηκε στο κεφάλαιο 5.4.1 και τις τιμές ολικών ετήσιων κατακρημνισμάτων έτσι όπως προέκυψαν από την εφαρμογή της θερμοβαθμίδας (κεφάλαιο 5.2.3), έχουμε για κάθε τύπο εφαρμογής της εξατμισοδιαπνοής τα αποτελέσματα του πίνακα 5.10. Υπενθυμίζεται πως στις μεθόδους των Thornwaite (Thornwaite, 1948, Thornwaite & Mather, 1957), Hargreaves & Samani (Hargreaves & Samani, 1982, Hargreaves et al., 1985), και Turc (Turc, 1961) τα ολικά κατακρημνίσματα υπολογίστηκαν με τη μέθοδο της βροχοβαθμίδας ενώ στην εμπειρική σχέση των Burdon & Παπάκης (Burdon & Parakis, 1963) υπολογίστηκαν από τον τύπο:

$$ET = \frac{P(\text{Οκτ.} - \text{Μάρτ.})}{2} + P(\text{Απρίλ.} - \text{Σεπτ.})$$

Απ' τα αποτελέσματα του πίνακα 4.10 παρατηρούμε πως ο εμπειρικός τύπος εκτίμησης της εξατμισοδιαπνοής των Burdon & Παπάκης (1963) που χρησιμοποιείται κυρίως στους καρστικούς σχηματισμούς, δίνει την πιο αντιπροσωπευτική τιμή για την περιοχή έρευνας. Η τιμή της κατείσδυσης (mm I) προέκυψε από την αφαίρεση από τα ολικά κατακρημνίσματα των υπολοίπων παραμέτρων, δηλαδή  $I = P - ET - R$  και πήρε θετική τιμή μόνο στην εφαρμογή του τύπου των Burdon & Παπάκης (1963).

**Πίνακας 5.10:** Τιμές και ποσοστά παραμέτρων υδρολογικού ισοζυγίου λεκάνης Ερασίνου

ΕΤΗΣΙΑ ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΣΜΑΤΑ	ΜΕΘΟΔΟΣ	ΕΞΑΤΜΙΣΟ-ΔΙΑΠΝΟΗ		ΚΑΤΕΙΣΔΥΣΗ		ΟΛΙΚΗ ΑΠΟΡΡΟΗ	
		ET (mm)	ET (%)	I (mm)	(%)	R (mm)	(%)
447,55	THORNWAITE	530,11	-	-	-	56,5	12,6
447,55	HARGREAVES & SAMANI	907,7	-	-	-	56,5	12,6
447,55	TURC	418,59	93,5	-	-	56,5	12,6
431,42	BURDON & ΠΑΠΑΚΗΣ	254,5	58,99	120,4	27,9	56,5	13,1

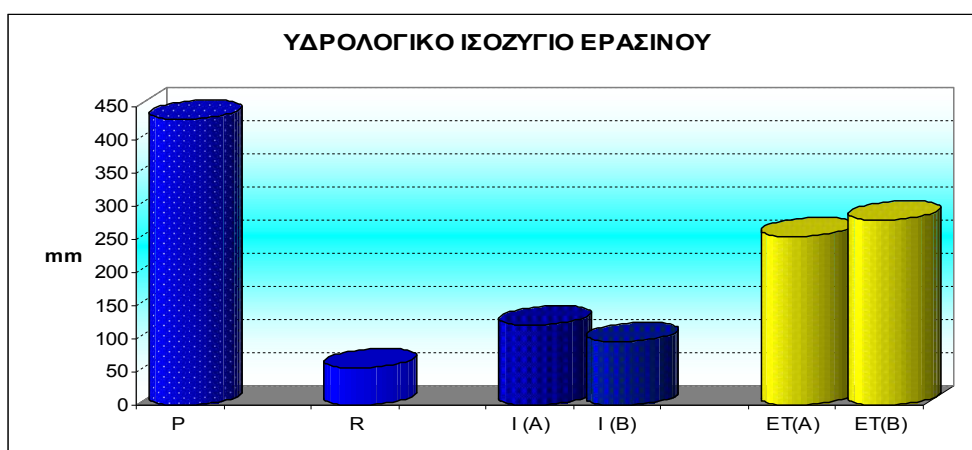


Για την επαλήθευση του παραπάνω υδρολογικού ισοζυγίου παίρνουμε δεδομένα τα κατακρημνίσματα, την απορροή, και την κατείδυση όπως υπολογίστηκε με βάση τους γεωλογικούς σχηματισμούς στο κεφάλαιο 5.5 για τη λεκάνη Ερασίνου  $I=95,6\text{mm}$ . Τα αποτελέσματα του ελέγχου φαίνονται στον πίνακα 5.11.

**Πίνακας 5.11:** Σύγκριση αποτελεσμάτων μεθόδων Burdon και Παπάκη και υπολογισμού κατείδυσης με βάση τους υποκείμενους γεωλογικούς σχηματισμούς για τη λεκάνη Ερασίνου

ΜΕΘΟΔΟΣ	P (mm)	R		I		ET	
		(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)
Υπολογισμός βασικής απορροής μέσω κατείδυσης δια των γεωλογικών σχηματισμών	431,42	56,5	13,10%	95,6	22,16%	279,32	64,74%
Υπολογισμός Εξατμισοδιαπνοής (Burdon και Παπάκης)	431,42	56,5	13,10%	120,4	27,91%	254,5	58,99%

Τα ποσοστά εξατμισοδιαπνοής ET και κατείδυσης I των δύο μεθόδων (1.εφαρμογή μεθόδου Burdon και Παπάκη και 2.υπολογισμός κατείδυσης από την εμβαδομέτρηση των γεωλογικών σχηματισμών) διαφέρουν κατά 5% (σχήμα 5.16).



**Σχήμα 5.16:** Γραφική απεικόνιση του υδρολογικού ισοζυγίου της λεκάνης Ερασίνου

A: εκτίμηση της εξατμισοδιαπνοής κατά Burdon και Παπάκης

B: εκτίμηση βάσει ποσοστού κατείδυσης στους υποκείμενους γεωλογικούς σχηματισμούς

### 5.6.2 Υδρολογικό Ισοζύγιο Λεκάνης Μεγάλου Ρέματος

Εφαρμόζοντας στη σχέση του υδρολογικού ισοζυγίου της λεκάνης Μεγάλου Ρέματος τις τιμές εξατμισοδιαπνοής που εκτιμήθηκαν στο κεφάλαιο 5.3, την τιμή ολικής απορροής που υπολογίστηκε στο κεφάλαιο 5.4.2 και τις τιμές ολικών ετήσιων κατακρημνισμάτων έτσι όπως προέκυψαν από την εφαρμογή της θερμοβαθμίδας (κεφάλαιο 5.2.4), έχουμε για κάθε τύπο εφαρμογής της εξατμισοδιαπνοής τα αποτελέσματα του πίνακα 5.12.

Όπως και στη λεκάνη Ερασίνου, στις μεθόδους των Thornwaite (Thornwaite 1948, Thornwaite & Mather 1957), Hargreaves & Samani (Hargreaves & Samani 1982, Hargreaves et al. 1985) και Turc (Turc, 1961) τα ολικά κατακρημνίσματα υπολογίστηκαν με τη μέθοδο της βροχοβαθμίδας ενώ στην εμπειρική σχέση των Burdon & Παπάκης υπολογίστηκαν από τον τύπο:



$$ET = \frac{P(\text{Οκτ.}-\text{Μάρτ.})}{2} + P(\text{Απρίλ.}-\text{Σεπτ.})$$

Απ' τα αποτελέσματα του πίνακα 5.12 προκύπτει πως η μέθοδος των Burdon & Παπάκης δίνει τις πιο αντιπροσωπευτικές τιμές των παραμέτρων του υδρολογικού ισοζυγίου της λεκάνης του Μεγάλου Ρέματος, απ' τις οποίες προκύπτει η θετική τιμή της κατείδυσης, δηλαδή  $I = P - ET - R = 55,92\text{mm}$ .

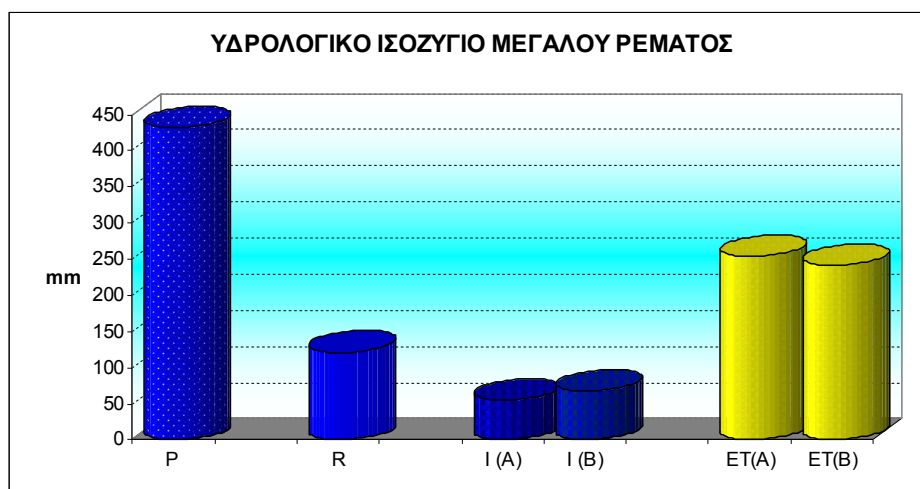
Η σύγκριση των παραμέτρων του υδρολογικού ισοζυγίου που προέκυψε από τον τύπο των Burdon & Παπάκης και αυτού που προέκυψε από τον υπολογισμό της κατείδυσης βάσει της εμβαδομέτρησης των γεωλογικών σχηματισμών ( $I=67,5\text{mm}$ ) αποτυπώνεται στον πίνακα 5.13.

**Πίνακας 5.12:** Τιμές και ποσοστά παραμέτρων υδρολογικού ισοζυγίου λεκάνης Μεγάλου Ρέματος

ΕΤΗΣΙΑ ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΣΜΑΤΑ	ΜΕΘΟΔΟΣ	ΕΞΑΤΜΙΣΟ-ΔΙΑΠΝΟΗ		ΚΑΤΕΙΣΔΥΣΗ		ΟΛΙΚΗ ΑΠΟΡΡΟΗ	
		ET (mm)	ET (%)	I (mm)	(%)	R (mm)	(%)
472,58	THORNWAITE	634,55	-	-	-	121,4	25,6
472,58	HAGREAVES & SAMANI	872,3	-	-	-	121,4	25,6
472,58	TURC	445,05	94,2	-	-	121,4	25,6
431,42	BURDON & ΠΑΠΑΚΗΣ	254,5	58,99	55,52	13	121,4	28

**Πίνακας 5.13:** Σύγκριση αποτελεσμάτων μεθόδων Burdon και Παπάκη και υπολογισμού κατείδυσης με βάση τους υποκείμενους γεωλογικούς σχηματισμούς για τη λεκάνη Μεγάλου Ρέματος

ΜΕΘΟΔΟΣ	P (mm)	R		I		ET	
		(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)
Υπολογισμός βασικής απορροής μέσω κατείδυσης δια των γεωλογικών σχηματισμών	431,42	121,4	28,14%	67,5	15,65%	242,52	56,21%
Υπολογισμός Εξατμισοδιαπνοής (Burdon και Παπάκης)	431,42	121,4	28,14%	55,52	12,87%	254,5	58,99%



**Σχήμα 5.17:** Διαγραμματική απεικόνιση του υδρολογικού ισοζυγίου της λεκάνης Μεγάλου Ρέματος  
 Α: με τον εμπειρικό τύπο μέτρησης της εξατμισοδιαπνοής των Burdon και Παπάκης  
 Β: με τον υπόλογο της κατείδυσης βάσει των υποκείμενων γεωλογικών σχηματισμών

Όπως και στη λεκάνη του Ερασίνου, έτσι και στη λεκάνη του Μεγάλου Ρέματος, η πιο αξιόπιστη μέθοδος υπολογισμού της εξατμισοδιαπνοής είναι αυτή των Burdon και Παπάκη. Η μέθοδος αυτή, συγκριτικά με τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής από την εμβαδομέτρηση της κατείδυσης δίνει ελάχιστες διαφοροποιήσεις στα ποσοστά της εξατμισοδιαπνοής και κατείδυσης, μικρότερες του 3% (σχήμα 5.17).

### 5.6.3 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα υδρολογικού ισοζυγίου λεκάνης Μεσογείων

Η βέλτιστη εκτίμηση των υδρολογικών ισοζυγίων της λεκάνης του Ερασίνου και της λεκάνης του Μεγάλου ρέματος έγινε βάσει του εμπειρικού τύπου εκτίμησης της εξατμισοδιαπνοής των Burdon και Παπάκη. Η σύγκριση των τιμών των παραμέτρων με βάση τον υπολογισμό της κατείδυσης, από την εμβαδομέτρηση των γεωλογικών σχηματισμών σε λογισμικό πρόγραμμα Γ.Π.Σ. έδειξε διαφορές μικρότερες του 5% στη λεκάνη Ερασίνου και μικρότερη του 3% στη λεκάνη Μεγ. Ρέματος.

Οι παράμετροι των υδρολογικών ισοζυγίων των δύο υδρολογικών λεκανών αποτυπώνονται σε χιλιοστά καθώς και σε κυβικά μέτρα ως μέσος ετήσιος όγκος, στον συγκεντρωτικό πίνακα 5.14.

**Πίνακας 5.14:** Παράμετροι του υδρολογικού ισοζυγίου λεκάνης Ερασίνου και Μεγάλου Ρέματος με βάση την εκτίμηση της εξατμισοδιαπνοής με τον εμπειρικό τύπο των Burdon & Papakis.

Λεκάνη	Ερασίνο	Μεγάλου Ρέματος
έκταση	202,8 km <sup>2</sup>	160 km <sup>2</sup>
P (mm)	431,42 mm	431,42 mm
P (m <sup>3</sup> )	87.491,98·10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	69.027,2·10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>
ET (mm)	254,5 mm	254,5 mm
ET (m <sup>3</sup> )	51.612,6·10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	40.720·10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>
I (mm)	120,42 mm	55,92 mm
I (m <sup>3</sup> )	24.421,18·10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	8.947,2·10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>
Rol (mm)	56,5 mm	121 mm
Rol (m <sup>3</sup> )	11.458,2·10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	19.360·10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>

Από τα στοιχεία του πίνακα 5.14, προκύπτει μεγάλος όγκος επιφανειακής απορροής στη λεκάνη του Μεγάλου Ρέματος (19.360 τόνοι ετησίως) συγκριτικά με τον όγκο απορροής της γειτονικής λεκάνης του Ερασίνου που μόλις ξεπερνούν τους 11.000 τόνους ετησίως. Η διαφορά έγκειται κυρίως στους γεωλογικούς σχηματισμούς κάθε λεκάνης. Στη λεκάνη Ερασίνο ο όγκος κατείδυσης νερού (24.421 τόνοι ετησίως) είναι τριπλάσιος του αντίστοιχου όγκου της ανάντη λεκάνης του Μεγάλου Ρέματος (8.947 τόνοι). Η διαφορά των όγκων νερού επιφανειακής απορροής στις δύο λεκάνες πιθανόν να οφείλονται και σε πρόσθετη ρίψη υδάτων στο "Μεγάλο Ρέμα", όπως η απόληξη αγωγών όμβριων υδάτων στις αστικές περιοχές.



## **6. ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ**

### **6.1 Γενικά**

Η δημιουργία ή μη υδροφόρων οριζόντων μέσα στα διάφορα είδη πετρωμάτων, το είδος, η δυναμικότητα αυτών και ο χημισμός γενικά του υπόγειου νερού είναι συνάρτηση της υδρογεωλογικής συμπεριφοράς των διαφόρων πετρωμάτων έναντι του υπόγειου νερού, η οποία εξαρτάται βασικά από την ύπαρξη ή μη σε αυτά ενεργού πορώδους (πρωτογενούς ή δευτερογενούς) και της μορφής αυτού. Η ύπαρξη πρωτογενούς (διάκενα) ή δευτερογενούς (διαρρήξεως) ενεργού πορώδους είναι συνάρτηση της σύστασης, της διαγένεσης, της τεκτονικής και άλλων πολλών παραγόντων που επηρεάζουν άμεσα την ύπαρξη αυτών. Η δημιουργούμενη υδραυλική αγωγιμότητα είναι συνάρτηση της υδρογεωλογικής συμπεριφοράς των εμφανιζόμενων υδρολιθολογικών ενοτήτων της περιοχής.

### **6.2 Υδρολιθολογία**

Η υδρολογική συμπεριφορά των διαφόρων γεωλογικών σχηματισμών που εμφανίζονται στη περιοχή έρευνας είναι συνάρτηση της λιθολογικής σύστασης τους, της κοκκομετρίας (που αφορά τους χαλαρούς σχηματισμούς), του βαθμού διαγένεσης και του τεκτονισμού που έχουν υποστεί (που αφορά τα συμπαγή πετρώματα). Οι χαρακτηριστικές αυτές ιδιότητες των διαφόρων λιθολογικών ενοτήτων σε σχέση με το κατεισδύμενο νερό, προσδιορίζουν τις υδραυλικές παραμέτρους του πρωτογενούς ή δευτερογενούς πορώδους.

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί και οι αποθέσεις που εμφανίζονται στην περιοχή ενδιαφέροντος από υδρογεωλογική συμπεριφορά είναι δυνατό να διακριθούν σε υδροπερατούς, ημιπερατούς και πρακτικά υδατοστεγείς σχηματισμούς ή αποθέσεις.

#### **6.2.1 Υδροπερατοί σχηματισμοί**

Στους σχηματισμούς αυτούς περιλαμβάνονται γενικά τα πετρώματα που παρουσιάζουν υψηλό ενεργό πορώδες και η κίνηση του νερού μέσα σε αυτά γίνεται με ευχέρεια και με σχετικά μεγάλη ταχύτητα. Στους σχηματισμούς αυτούς ένα μεγάλο ποσοστό των κατακρημνισμάτων που πέφτουν στην επιφάνεια τους κατεισδύει στα βαθύτερα στρώματα. Εκεί δημιουργούνται υπόγειοι υδροφόροι ορίζοντες και εν συνεχεία το νερό επιστρέφει στην επιφάνεια με τη δημιουργία πηγών, εφόσον οι γεωμορφολογικές και γεωλογικές συνθήκες της περιοχής επιτρέπουν την έξοδο του.

Στην κατηγορία αυτή των υδροπερατών σχηματισμών ανήκουν κυρίως οι ανθρακικοί σχηματισμοί, ασβεστόλιθοι, δολομίτες και μάρμαρα που εμφανίζονται στα περιθώρια της λεκάνης των Μεσογείων, καθώς επίσης και οι φακοειδείς διαστρώσεις μαρμάρων που εμφανίζονται εντός των σχιστόλιθων. Τα ανθρακικά πετρώματα της περιοχής παρουσιάζουν ισχυρή διάρρηξη και κατάκλαση που σε συνδυασμό με τον έντονο κερματισμό και την καρστικοποίηση τους χαρακτηρίζονται από αυξημένη περατότητα.

Τα ανθρακικά πετρώματα είναι γενικά υδροπερατοί σχηματισμοί κι η ικανότητά τους να επιτρέπουν την κίνηση του νερού μέσα από τη μάζα τους (περατότητα), υπό ορισμένη υδραυλική κλίση, είναι ανάλογη των φυσικοχημικών τους χαρακτήρων και του πορώδους τους. Τα μεγάλης καθαρότητας και ισχυρά διερρηγμένα ανθρακικά πετρώματα χαρακτηρίζονται από υψηλό βαθμό περατότητας (Χαρμανίδης, 2002).

Στην κατηγορία των υδροπερατών σχηματισμών ανήκουν επίσης και οι χαλαροί σχηματισμοί, όπως τα πλευρικά κορήματα τα οποία έχουν δημιουργηθεί από τη διάβρωση των μητρικών πετρωμάτων και εμφανίζονται κατά τόπους στις κλιτείς των ορέων του Υμηττού, της Μερέντας και της Πεντέλης.

Επίσης στην κατηγορία αυτή ανήκουν το μεγαλύτερο ποσοστό των χαλαρών αλουβιακών αποθέσεων που αναπτύσσονται εντός των λεκανών του Ερασίνου και του

Μεγάλου Ρέματος της Ραφήνας. Γενικά η υδροπερατότητα των χαλαρών σχηματισμών έχει άμεση σχέση με τη λιθολογική και κοκκομετρική σύσταση αυτών. Όσο αδρομερέστεροι είναι οι χαλαροί σχηματισμοί και όσο χαμηλότερο είναι το ποσοστό συμμετοχής των αργιλικών συστατικών, τόσο μεγαλύτερη είναι και η υδροπερατότητα αυτών.

### **6.2.2 Ημπερατοί σχηματισμοί**

Στους λιθολογικούς αυτούς σχηματισμούς περιλαμβάνονται γενικά τα πετρώματα που χαρακτηρίζονται από ασυνεχή ή περιορισμένη υδροφορία οφειλόμενη κυρίως στο δευτερογενές πορώδες. Ως εκ τούτου τμήματα αυτών είναι δυνατόν να παρουσιάζουν σημαντική υδροφορία, ενώ άλλα να χαρακτηρίζονται σαν υδατοστεγή.

Οι νεογενείς σχηματισμοί αποτελούνται από διάφορα στρώματα, μερικά απ' τα οποία μπορούν ν' αποτελέσουν υδροφόρο ορίζοντα μέτριας δυναμικότητας. Οι ψαμίτες, οι κροκάλες, τα λατυποπαγή και οι μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι είναι μερικώς υδροπερατοί σχηματισμοί, η περατότητα των οποίων εξαρτάται απ' την κοκκομετρική τους σύσταση, τη διαγένεση και το βαθμό διάρρηξης και κατάκλασής τους.

Οι τεταρτογενείς αποθέσεις παρουσιάζουν υδρογεωλογικό ενδιαφέρον λόγω της αδρομερέστερης σύστασής τους και της μειωμένης περιεκτικότητάς τους σε αργιλικά υλικά. Ωστόσο, τα πηγάδια που έχουν διανοιχτεί σ' αυτούς τους σχηματισμούς αποδίδουν μικρές ποσότητες νερού και τα περισσότερα στερεύουν τους καλοκαιρινούς μήνες.

### **6.2.3 Σχεδόν υδατοστεγείς σχηματισμοί**

Οι εν λόγω σχηματισμοί χαρακτηρίζονται για την υπερβολικά χαμηλή τους περατότητα, η οποία συνήθως είναι μικρότερη και των  $10^{-8}$  m/sec (Κούνης 1979, 1998, Stamatis et al. 2000). Το μεγαλύτερο ποσοστό των κατακρημνισμάτων απορρέει επιφανειακά, ένα μεγάλο μέρος εξατμίζεται και μόνο ένα πάρα πολύ μικρό ποσοστό κατεισδύει σε βαθύτερους υπεδαφικούς ορίζοντες.

Στην κατηγορία αυτή ανήκουν οι σχιστόλιθοι του μεταμορφωμένου υποβάθρου καθώς και τα αργιλομαργαϊκά υλικά των νεογενών σχηματισμών. Οι σχιστόλιθοι, αν εξεταστούν σαν ενιαίο σύνολο, θεωρούνται από υδρολογική άποψη στεγανοί σχηματισμοί. Εντούτοις, αν στο όλο σύστημα εμπεριέχονται σχηματισμοί με μικρή ή μέτρια περατότητα – όπως συμβαίνει στην περιοχή έρευνας που περιέχουν συχνές ενστρώσεις μαρμάρων ποικίλου πάχους – ή αν τα πετρώματα αυτά παρουσιάζονται αποσαθρωμένα, τότε μπορούν ν' αποτελέσουν σχηματισμούς μέσα στους οποίους αναπτύσσονται υδροφόροι ορίζοντες μικρής δυναμικότητας.

## **6.3 Υδροφόροι ορίζοντες**

### **6.3.1 Καρστική υδροφορία**

Στην περιοχή έρευνας στην οποία κυριαρχούν οι τριτογενείς και τεταρτογενείς αποθέσεις, τα μάρμαρα βρίσκονται σε βάθος ενδεχομένως μεγαλύτερο των 150m, κάτω απ' τους σχιστόλιθους. Αντίθετα στην περιφέρεια, λόγω τεκτονικών και διαβρωσιγενών συνθηκών βρίσκονται ψηλότερα και σε υδραυλική επικοινωνία με το νεογενές.

Η υδρολογική τους συμπεριφορά παρουσιάζει λιθολογική και καρστική ομοιογένεια. Η μεταβιβαστικότητα τους είναι ιδιαίτερα υψηλή (πενταπλάσια περίπου του νεογενούς) λόγω της έντονης ρηγμάτωσης του υδροφορέα. Γενικά θεωρούνται σημαντικοί υδροφορείς με αποδόσεις γεωτρήσεων δεκάδων  $m^3/h$  (Κούνης 1979, 1998). Ο υδροφόρος του μαρμάρου της νοτιοανατολικής επέκτασης του αντικλίνου του Υμηττού φέρει παροχές μεγαλύτερες των  $300m^3/h$ , ενώ οι παροχές στην περιοχή του Μαρκόπουλου είναι μεταξύ 100 και  $300 m^3/h$  (Παπαδέας, 2002).

Τα μάρμαρα του μεταμορφωμένου υποβάθρου παρουσιάζουν υδραυλική επικοινωνία με τη θάλασσα που σε συνδυασμό με τις υπεραντλήσεις που έχουν υποστεί τα τελευταία ξηρά έτη συντέλεσαν στην υφαλμύριση των υδάτων αυτών (Γεωργαλάς και Κουμαντάκης, 1997).

Ο καρστικός υδροφόρος ορίζοντας εκφορτίζεται υποθαλάσσια στον Ευβοϊκό κόλπο. Κατά μήκος των ακτών μεταξύ Πόρτο-Ράφτη και Αρτέμιδας εντοπίζονται σε πολλά σημεία μικρές υποθαλάσσιες αναβλύσεις που μαρτυρούν την έξοδο του καρστικού νερού στον υποθαλάσσιο χώρο. Σημαντικές παράκτιες πηγές δεν εντοπίζονται στην εν λόγω περιοχή έρευνας. Η στάθμη του καρστικού υδροφόρου στα κεντρικά τμήματα της λεκάνης των Μεσογείων βρίσκεται 2-3 μέτρα πάνω από τη στάθμη της θάλασσας (Κούνης 1979, 1998).

### **6.3.2 Υδροφορία των νεογενών σχηματισμών**

Σημαντικό ποσοστό της επιφάνειας της περιοχής έρευνας καταλαμβάνεται από νεογενείς σχηματισμούς, οι οποίοι αποτελούνται από εναλλαγές μαργών, μαργαϊκών ασβεστολίθων, ψαμμιτών και αργίλων. Εντός των σχηματισμών αυτών, λόγω της εναλλαγής υδροστεγανών και υδροπερατών πετρωμάτων δημιουργούνται τοπικά ελεύθεροι και υπό πίεση υδροφόροι ορίζοντες περιορισμένης δυναμικότητας. Τόσο στην λεκάνη του Ερασίνου όσο και στην λεκάνη του Μεγάλου Ρέματος Ραφήνας εντοπίζονται μικρές πηγές επαφής, χαμηλών παροχών, μέσω των οποίων γίνεται η εκτόνωση των ανώτερων υδροφόρων οριζόντων των νεογενών σχηματισμών. Χαρακτηριστική είναι η περιοχή του Πύργου Βραυρώνας στην λεκάνη Ερασίνου, όπου εντοπίζεται σχετικός αριθμός πηγών επαφής που μαρτυρούν την υδροφορία των ψαμμιτικών κυρίως οριζόντων και των τραβερτινοειδών ασβεστόλιθων του Νεογενούς (Λέκκας, 1992). Οι σχιστόλιθοι του μεταμορφωμένου υποβάθρου, που χαρακτηρίζονται ως αδιαπέρατοι σχηματισμοί, δημιουργούν το στεγανό υπόστρωμα της νεογενούς λεκάνης και ρυθμίζουν τοπικά την κυκλοφορία του υπόγειου νερού. Γενικά οι υδροφόροι σχηματισμοί του Νεογενούς των δυο λεκανών εκτονώνονται προς την παράκτια ζώνη.

Ο σχετικά αβαθής υδροφόρος ορίζοντας που αναπτύσσεται εντός των νεογενών σχηματισμών υφίσταται εντατική εκμετάλλευση κυρίως για την άρδευση της περιοχής, όπως τούτο μαρτυρεί και ο μεγάλος αριθμός πηγαδιών και γεωτρήσεων. Επίσης εκμεταλλεύεται και από μικρό αριθμό βιομηχανικών μονάδων και βιοτεχνιών που βρίσκονται στην περιοχή, όπως παρασκευής υγρού μπετόν, κατασκευής κεραμικών, επεξεργασία μαρμάρων κλπ. Το βάθος των πηγαδιών κυμαίνεται από 10m έως 30m, ενώ το μεγαλύτερο ποσοστό των υδρογεωτρήσεων υπερβαίνει τα 100m, ξεπερνώντας έτσι την απόλυτη θαλάσσια στάθμη. Οι παροχές των πηγαδιών δεν υπερβαίνουν τα 5 m<sup>3</sup>/h, ενώ στις γεωτρήσεις κυμαίνονται από 15-35 m<sup>3</sup>/h (Κούνης 1979, Stamatis et al. 2000).

### **6.3.3 Υδροφορία των τεταρτογενών αποθέσεων**

Στην περιοχή έρευνας απαντώνται σε μεγάλο ποσοστό σύγχρονες τεταρτογενείς αποθέσεις, στις οποίες συγκαταλέγονται τα ριπίδια, τα πλευρικά κορήματα, τα πληρώματα κοιλάδων και το ελούβιο των χαμηλότερων τοπογραφικά σημείων της λεκάνης. Οι σχηματισμοί του τεταρτογενούς συνίστανται από χαλίκια, άμμους και πηλούς. Γενικά έχουν περιορισμένο πάχος και χαμηλά υδραυλικά χαρακτηριστικά. Εντός αυτών συντηρείται φρεάτιος υδροφόρος με περιορισμένη δυναμικότητα, λόγω της επιβραδυντικής συμπεριφοράς των πηλών του νεογενούς. Οι σχιστόλιθοι, οι νεογενείς σχηματισμοί και τ' ανθρακικά αποτελούν κατά τόπους το υπόβαθρο των τεταρτογενών αποθέσεων (Κούνης, 1979).

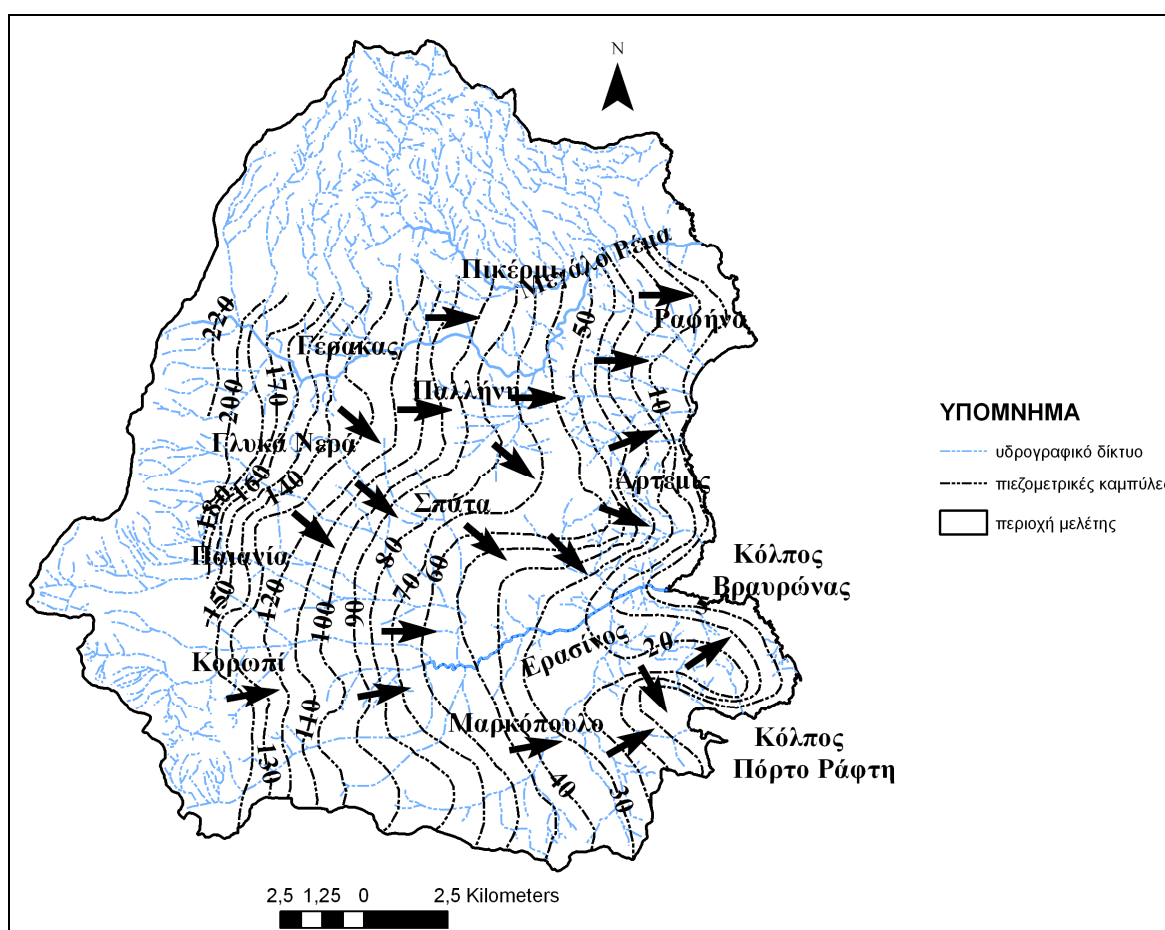
Ο εμπλουτισμός του υδροφόρου γίνεται με άμεση διήθηση των όμβριων υδάτων σε όλη την επιφάνεια εξάπλωσης των προσχώσεων, με πλευρικές μεταγγίσεις των συμπαγών πετρωμάτων και των νεογενών σχηματισμών και από τα κύρια επιφανειακά ρέματα σε

περιόδους υδρορροής. Σημαντικός αριθμός πηγαδιών εντοπίζεται κατά μήκος των δυο μεγάλων υδρορευμάτων «Ερασίνου» και «Μεγάλου Ρέματος» που εκμεταλλεύεται την φρεάτια υδροφορία. Η έντονη εκμετάλλευση του φρεάτιου υδροφόρου ορίζοντα έχει συντελέσει στην ποιοτική υποβάθμισή αυτού με κύριο χαρακτηριστικό γνώρισμα την αύξηση της αλατότητάς του. Αυτή σχετίζεται στην παράκτια ζώνη με τη διείδυση της θάλασσας. Αντίθετα στην ενδοχώρια περιοχή συμβάλλουν κυρίως γεωλογικοί παράγοντες καθώς και ανθρωπογενείς επιδράσεις.

#### 6.4 Πιεζομετρία

Στην εικόνα του σχήματος 6.1, παρουσιάζονται οι πιεζομετρικές καμπύλες του ανώτερου υδροφόρου ορίζοντα που αναπτύσσεται στην λεκάνη του Μεγάλου Ρέματος της Ραφήνας και στην λεκάνη του Ερασίνου. Τα στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή του πιεζομετρικού χάρτη προέρχονται από τις μετρήσεις της στάθμης, κυρίως των πηγαδιών και των γεωτρήσεων, όπου αυτό ήταν εφικτό. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν την πρώτη περίοδο δειγματοληψίας τον Μάρτιο του 2005. Οι τιμές παρουσιάζουν την ανώτερη στάθμη που διαμορφώνεται στην λεκάνη Μεσογείων και φανερώνουν την κατάσταση που επικρατεί στην περιοχή κατά το τέλος της υγρής περιόδου αναφορικά ως προς τον εμπλουτισμό του υδροφορέα.

Η πιεζομετρική επιφάνεια αναπτύσσεται σε θετικά απόλυτα υψόμετρα σε όλη την έκταση της περιοχής. Οι απόλυτες τιμές της πιεζομετρικής στάθμης στη λεκάνη του Μεγάλου Ρέματος Ραφήνας κυμαίνονται μεταξύ του 1 μέτρου στην παράκτια περιοχή και των 220 μέτρων στο βορειοδυτικότερο τμήμα της λεκάνης. Αντίθετα στη λεκάνη του Ερασίνου οι απόλυτες στάθμες κυμαίνονται μεταξύ του 1 μέτρου και των 150 μέτρων. Η μορφή της πιεζομετρικής επιφάνειας και στις δυο λεκάνες συμπίπτει σε γενικές γραμμές με την μορφολογία τους, εκτός μικρών αποκλίσεων.



Σχήμα 6.1: Η πιεζομετρία της περιοχής έρευνας

Οι υδραυλικές κλίσεις εμφανίζονται κατά πολύ μεγαλύτερες (4-6%) στο δυτικό τμήμα της περιοχής, λόγω των γεωυδραυλικών ιδιοτήτων που χαρακτηρίζουν τους σχιστόλιθους και φυλλίτες και ελέγχουν τοπικά την υδροδυναμική εξέλιξη του συστήματος. Οι υψηλότερες στάθμες της πιεζομετρικής επιφάνειας καταγράφηκαν στην ίδια ζώνη, όπου παρατηρείται το υψηλότερο ανάγλυφο της περιοχής.

Στο κεντρικό τμήμα των δυο λεκανών, Ερασίνου και Μεγάλου Ρέματος, όπου η κυκλοφορία των υπόγειων νερών συντελείται αποκλειστικά στους Τεταρτογενείς και Νεογενείς σχηματισμούς, παρατηρούνται μικρότερες υδραυλικές κλίσεις (1-2%) και ομαλότερη ανάπτυξη της πιεζομετρικής επιφάνειας.

Η γενική κατεύθυνση των υπόγειων ροών είναι προς ανατολάς, προς την παράκτια περιοχή, όπου συντελείται και η εκτόνωση των υδροφόρων οριζόντων. Κατά τόπους εμφανίζονται μικρές διαφοροποιήσεις που σχετίζονται με την διαμόρφωση ενός υπόγειου υδροκρίτη. Αυτό φαίνεται στην περιοχή μεταξύ Σπάτων και Άρτεμης, όπου η ροή των υπόγειων νερών διαχωρίζονται προς βορειοανατολικά, προς την λεκάνη του Μεγάλου Ρέματος και προς νοτιοανατολικά, προς την λεκάνη του Ερασίνου.

Στην διαμόρφωση της υπόγειας ροής τοπικά συμβάλλει προφανώς η αναθόλωση του κρυσταλλικού υποβάθρου, γεγονός που αντικατοπτρίζεται και από την μείωση του πάχους των νεογενών αποθέσεων. Από τις γεωτρητικές έρευνες που πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια κατασκευής του Διεθνούς Αεροδρομίου, διαπιστώνεται ότι το πάχος των νεογενών σχηματισμών, κατά τον άξονα των υψωμάτων Σπάτων - Άρτεμης, κυμαίνεται περί τα 70m, και στο βάθος ακολουθούν οι σχιστόλιθοι. Στα βόρεια και νότια της εν λόγω περιοχής αυξάνει σημαντικά και υπερβαίνει τα 100m. Για παράδειγμα στην περιοχή Γυαλού ΝΑ/κά των Σπάτων, όπου εκτείνεται το κτήμα του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών, η γεώτρηση που πραγματοποιήθηκε εντός του κτήματος διέτρησε μέχρι το βάθος των 100 μέτρων νεογενή ιζήματα και στην συνέχεια μέχρι το βάθος των 110 μέτρων διέτρησε τους γκρίζους έως τεφρούς αθηναϊκούς σχιστόλιθους (Σταμάτης 2001). Γενικά οι σχιστόλιθοι που αναπτύσσονται στο υπόβαθρο της λεκάνης των Μεσογείων έχουν καθοριστικό ρόλο στην διαμόρφωση των υδρογεωλογικών συνθηκών και ιδιαίτερα στην διαμόρφωση της ροής των υπόγειων νερών.

Επίσης μεταξύ Βραυρώνας – Μαρκόπουλο - Πόρτο Ράφτη η διαμόρφωση των υπόγειων ροών επηρεάζεται άμεσα από την μορφολογία της εν λόγω περιοχής. Τοπικά διαμορφώνεται ένας υπόγειος υδροκρίτης όπου τα υπόγεια νερά κατευθύνονται εν μέρει βορειοανατολικά προς τον κόλπο της Βραυρώνας και εν μέρει νότια προς τον κόλπο του Πόρτο Ράφτη.

Το πάχος της ακόρεστης ζώνης και στις δυο λεκάνες κυμαίνεται μεταξύ 3m και 5m στα χαμηλότερα σημεία του τοπογραφικού ανάγλυφου, όπου είναι οι ζώνες αποστράγγισης των υπόγειων νερών πλησίον των υδρορεμάτων Ραφήνας και Ερασίνου. Στα υψηλότερα σημεία του τοπογραφικού ανάγλυφου της δυτικής περιοχής το πάχος αυτής κυμαίνεται μεταξύ 20m και 25m.

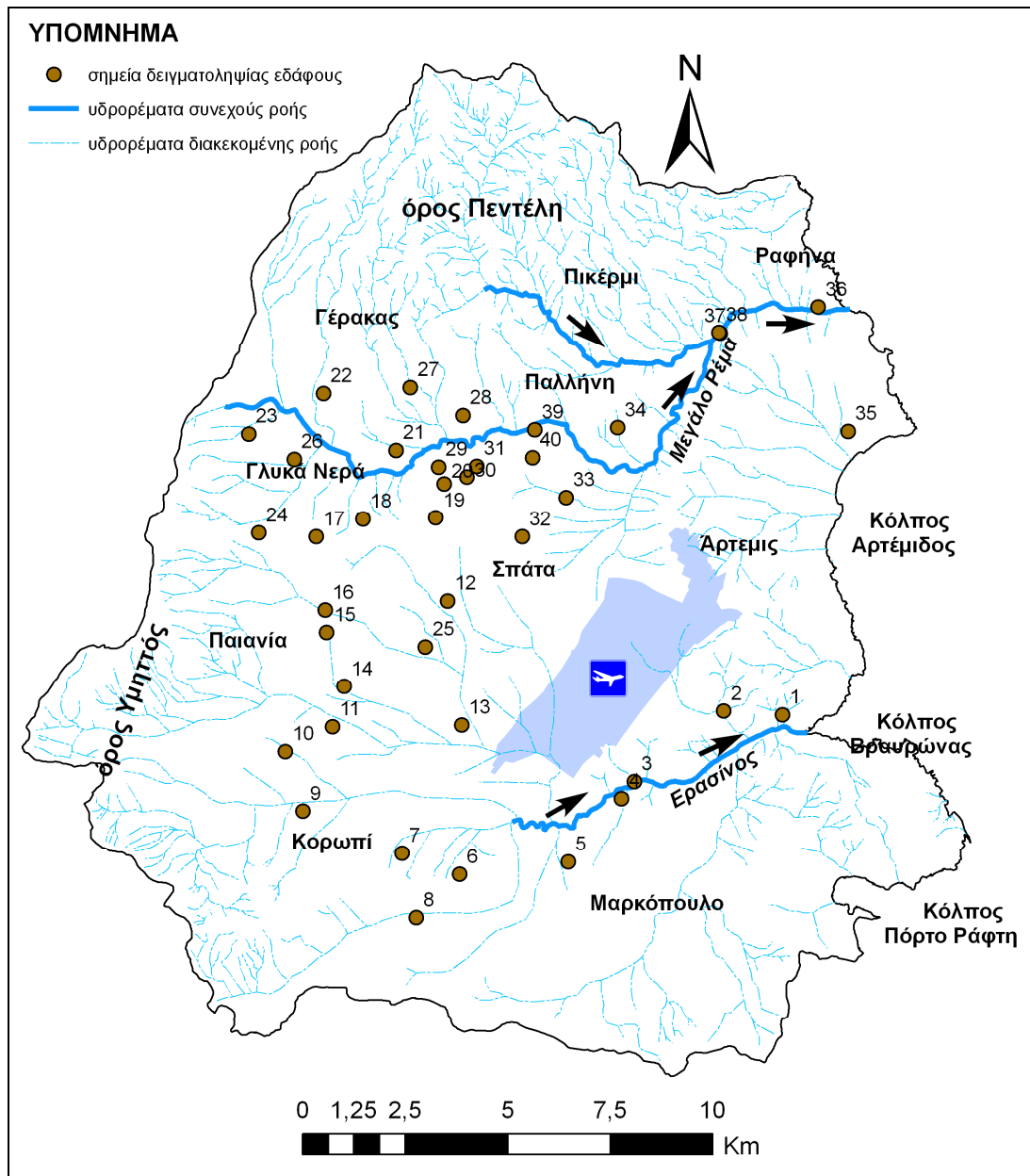




## 7. ΓΕΩΧΗΜΕΙΑ

### 7.1 Δειγματοληψία των εδαφών

Η δειγματοληψία των εδαφών έγινε το Μάρτιο 2007, ταυτόχρονα με την 4<sup>η</sup> και τελευταία δειγματοληψία νερών (2<sup>η</sup> υγρής περιόδου). Τα σημεία δειγματοληψίας των εδαφών αποτυπώνονται στο χάρτη του σχήματος 7.1 όπως προέκυψε με ψηφιοποίηση στο πρόγραμμα Arcmap. Συνολικά ελήφθησαν 42 εδαφικά δείγματα με ικανοποιητική χωρική διασπορά, ώστε να καλύπτεται στο σύνολο της λεκάνης έρευνας, η οποία έχει πληρωθεί με Νεογενείς και Τεταρτογενείς σχηματισμούς (σχήμα 7.1).



Σχήμα 7.1: Τα σημεία δειγματοληψίας εδάφους με το υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής έρευνας.

Κατά τον καθορισμό των σημείων δειγματοληψίας ελήφθησαν υπόψη και τα σημεία δειγματοληψίας των υπόγειων νερών. Έτσι λοιπόν, κάθε δείγμα εδάφους ελήφθη πλησίον από κάποιο σημείο δειγματοληψίας νερού. Σκοπός της εφαρμογής

αυτής ήταν, αφενός μεν η διερεύνηση των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών των εδαφών και αφετέρου η στατιστική σύγκριση μεταξύ των χημικών χαρακτηριστικών των εδαφών και των αντίστοιχων των πλησιέστερων υπόγειων νερών.

Για την επιλογή των σημείων έγινε κάναβος, βασισμένος και στη δειγματοληψία νερού κι επιλέχθηκαν σημεία εδάφους αντιπροσωπευτικά της κάθε περιοχής. Τα δείγματα εδάφους ήταν επιφανειακά (βάθους 0 έως 30cm). Κατά τη δειγματοληψία απομακρυνόταν η βλάστηση απ' την επιφάνεια για την αποφυγή αλλοίωσης των αποτελεσμάτων. Κατόπιν με ειδικό εξοπλισμό (καροταρία) ελήφθησαν δείγματα μάζας περίπου 2 κιλών το καθένα.

## 7.2 Μέθοδοι ανάλυσης εδάφους

Τα δείγματα μεταφέρθηκαν άμεσα στο Εργαστήριο Ορυκτολογίας-Γεωλογίας του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών, όπου ακολούθησε η ακόλουθη επεξεργασία τους:

- αεροζήρανση για λίγες μέρες σε θερμοκρασία δωματίου ( $\approx 22^{\circ}\text{C}$ ),
- λειοτρίβηση και
- διαχωρισμός των κλασμάτων με κόσκινο ανοίγματος οπών 2 mm και
- κοκκομετρική ανάλυση (με τη μέθοδο Βουγιούκου)

Για τις εργαστηριακές αναλύσεις εδάφους που ακολούθησαν, χρησιμοποιήθηκαν μόνο τα τεμαχίδια που ήταν μικρότερα των 2mm.

Στα δείγματα εδάφους έγιναν φυσικές και χημικές αναλύσεις σύμφωνα με τα διεθνή πρότυπα για την εξέταση των εδαφών. Συγκεκριμένα, εξετάστηκαν οι ακόλουθες φυσικές και χημικές παράμετροι:

- κοκκομετρική σύσταση (με τη μέθοδο Βουγιούκου)
- EC (φορητό αγωγιμόμετρο WTW LF 330/SET)
- pH (φορητό πεχάμετρο WTW pH 330i/SET)
- οργανική ουσία κατά Walkley-Black
- ολικό ασβέστιο (με τη μέθοδο Bernard)
- φώσφορος (με τη μέθοδο Olsen)
- ολικό άζωτο (με τη μέθοδο Brenner & Mulvaney)
- ανταλλάξιμα κατιόντα (με τη μέθοδο Thomas)
- Ικανότητα Ανταλλαγής Κατιόντων (με τη μέθοδο Rhoades)
- Προσδιορισμός ολικών, βιοδιαθέσιμων, ανταλλάξιμων καθώς και οργανικών και ανθρακικών μορφών των βαρέων μετάλλων Pb, Cd, Co, Ni, Fe, Mn, Cr, Cu και Zn (φασματοσκοπία ατομικής απορρόφησης με φασματόμετρο GBS 908).

✚ **Κοκκομετρική σύσταση:** Η μηχανική ανάλυση των εδαφών έγινε με τη μέθοδο Βουγιούκου (1951). Αυτή στηρίζεται στην ταχύτητα της καθίζησης σε διάλυμα  $\text{NaPO}_3$   $\text{NaCO}_3$  (Calgon) των τεμαχιδίων του εδάφους σύμφωνα με το νόμο του Stokes.

✚ **Προσδιορισμός της Ec:** Ο προσδιορισμός της Ec ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) έγινε με φορητό όργανο τύπου WTW LF 330/SET σε αιώρημα εδάφους / νερού με αναλογία 1:1. ύστερα από ανάδευση και εξισορρόπηση μίας ώρας (McLean, 1982).

✚ **Προσδιορισμός του pH:** Ο προσδιορισμός του pH έγινε με φορητό όργανο τύπου WTW PH 330i/SET σε αιώρημα εδάφους / νερού με αναλογία 1:1. ύστερα από ανάδευση και εξισορρόπηση μίας ώρας (McLean, 1982).

✚ **Προσδιορισμός της οργανικής ουσίας:** Για τον προσδιορισμό της οργανικής ουσίας χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της υγρής οξείδωσης Walkley-Black η οποία στηρίζεται στην υγρή καύση του οργανικού άνθρακα με ισχυρό οξειδωτικό μέσο ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ) σε ισχυρά όξινο περιβάλλον (πυκνό  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) και την τιτλοδότηση της

περίσσειας του οξειδωτικού μέσου με δισθενή θειικό σίδηρο ( $\text{FeSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) (Nelson and Sommers, 1982).

✚ **Προσδιορισμός των ολικών ανθρακικών αλάτων:** Η μέθοδος βασίζεται στην έκλυση  $\text{CO}_2$  κατά την προσθήκη  $\text{HCl}$  (1:1) στο εδαφικό δείγμα (Duchaufour, 1960). Το εκλυόμενο  $\text{CO}_2$  μετρήθηκε με ασβεστόμετρο Bernard. Έτσι προσδιορίζονται όλα τα ανθρακικά άλατα του εδάφους ανεξάρτητα από το κατιόν τους και εκφράζονται ως %  $\text{CaCO}_3$  (Allison and Moodie, 1965).

✚ **Προσδιορισμός του φωσφόρου:** Η μέθοδος βασίζεται στον προσδιορισμό του φωσφόρου σε εκχύλισμα, στο οποίο βρίσκονται υπό διαλυτή μορφή ενώσεις του φωσφόρου και των ανταλλάξιμων φωσφορικών ιόντων και το οποίο προκύπτει με προσθήκη διαλύματος 0,5M  $\text{NaHCO}_3$  σταθερού pH (8,5).

Στα ασβεστούχα (αλκαλικά), ή στα ουδέτερα εδάφη που περιέχουν διάφορες μορφές φωσφορικού ασβεστίου, ένα μέρος των μορφών αυτών του φωσφόρου εισέρχεται στο διάλυμα και περιλαμβάνεται στο εκχύλισμα λόγω καθιζήσεως του κατιόντος του ασβεστίου υπό μορφή ανθρακικού ασβεστίου.

Ένα άλλο μέρος του φωσφόρου από τα φωσφορικά άλατα με Fe και Al, διαλύεται και εκχυλίζεται, λόγω του υψηλού pH του διαλύματος εκχύλισης. Η ανωτέρω παραλαμβανόμενη ποσότητα φωσφόρου επηρεάζεται από τη θερμοκρασία, το χρόνο εκχύλισης και την ταχύτητα ανακίνησης.

✚ **Προσδιορισμός του αζώτου:** Ο προσδιορισμός του ολικού αζώτου στηρίχτηκε στη μέθοδο Kjeldahl, σύμφωνα με την οποία όλες οι ενώσεις του αζώτου (πλην των νιτρικών) αναλύονται σε αμμωνία (Bremner and Mulvaney, 1982).

✚ **Προσδιορισμός των ανταλλάξιμων κατιόντων Mg, Ca, K και Na:** Για τον προσδιορισμό των ανταλλάξιμων κατιόντων χρησιμοποιήθηκε κανονικό διάλυμα οξικού αμμωνίου (1N), ουδέτερου pH (=7) (Thomas, 1982). Ο ποσοτικός προσδιορισμός των  $\text{K}^+$  και  $\text{Na}^+$  έγινε σε φλογοφωτόμετρο ενώ των  $\text{Ca}^{2+}$  και  $\text{Mg}^{2+}$  σε φασματοσκοπία ατομικής απορρόφησης με φασματόμετρο GBS 908.

✚ **Προσδιορισμός της I.A.K.:** Για τον προσδιορισμό της Ικανότητας Ανταλλαγής Κατιόντων (I.A.K.) εφαρμόστηκε η μέθοδος του οξικού αμμωνίου σύμφωνα με την οποία έχουμε κορεσμό των θέσεων ανταλλαγής του εδαφικού κolloειδούς με  $\text{Na}^+$  και στην συνέχεια αντικατάστασή του με  $\text{NH}_4^+$  (Rhoades, 1982). Για την απομάκρυνση της περίσσειας οξικών ή χλωριούχων αλάτων του νατρίου χρησιμοποιήθηκε ισοπροπυλική αλκοόλη.

✚ **Προσδιορισμός των βαρέων μετάλλων:** Τα βαρέα μέταλλα που προσδιορίστηκαν στα εδαφικά δείγματα είναι: Cd, Zn, Cu, Mn, Ni, Co, Pb, Fe και Cr. Στα 42 δείγματα εδάφους αρχικά πραγματοποιήθηκαν τέσσερις φάσεις μη διαδοχικών εκχυλίσεων χωρίς συγκεκριμένο πρωτόκολλο. Η α-φάση αφορούσε την εκχύλιση για τον προσδιορισμό των υδατοδιαλυτών μορφών μετάλλων. Η β-φάση αφορούσε τον προσδιορισμό των ανταλλάξιμων μορφών μετάλλων, η γ-φάση αφορούσε τον προσδιορισμό των συνδεδεμένων με οξείδια του σιδήρου και μαγγανίου, με ανθρακικές κι οργανικές ενώσεις μετάλλων. Η δ-φάση αφορούσε τον προσδιορισμό των ολικών συγκεντρώσεων των βαρέων μετάλλων, από την οποία προκύπτει, με αφαίρεση των τριών πρώτων φάσεων, η φάση των δεσμευμένων βαρέων μετάλλων στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών.

α) Προσδιορισμός των υδατοδιαλυτών μορφών (αιώρημα εδάφους 1:1)

Για τον προσδιορισμό των υδατοδιαλυτών μορφών των βαρέων μετάλλων ζυγίζονται 80g εδάφους και τοποθετούνται σε πλαστικό φιαλίδιο των 200ml μαζί με 80ml απεσταγμένο νερό. Στη συνέχεια ανακινούνται στο αναδευτήρα για 16h στις 140 στρ/λεπτό (rpm). Το διάλυμα οδηγείται στη φυγόκεντρο για 10 λεπτά στις 3000 rpm και έπειτα διηθείται με φίλτρο Macherey-Nagel MN 615<sup>1/4</sup>. Το διήθημα αναλύθηκε φασματοσκοπικά με τη μέθοδο της ατομικής απορρόφησης (GBS 908) για τον προσδιορισμό των βαρέων μετάλλων (Emmerich et al., 1981).

β) Προσδιορισμός ανταλλάξιμων μορφών (εκχύλιση με KNO<sub>3</sub> 0,5 M)

Για τον προσδιορισμό των ανταλλάξιμων μορφών των βαρέων μετάλλων, σε κωνική φιάλη προστίθεται 1lt απιονισμένου νερού και 50,555g KNO<sub>3</sub> 0,5M, οπότε δημιουργείται διάλυμα KNO<sub>3</sub> 0,5N. Ζυγίζονται 10g εδάφους και προστίθενται σε πλαστικό φιαλίδιο των 100ml μαζί με 80ml KNO<sub>3</sub> 0,5N. Ακολουθεί ανάδευση για 16h στις 140 rpm και φυγοκέντρηση για 10 λεπτά στις 3000 rpm. Το διάλυμα διηθείται με φίλτρο Macherey-Nagel MN 615<sup>1/4</sup>. Το διήθημα αναλύθηκε φασματοσκοπικά με τη μέθοδο της ατομικής απορρόφησης (GBS 908) για τον προσδιορισμό των βαρέων μετάλλων (Emmerich et al., 1981).

γ. Προσδιορισμός δεσμευμένων μορφών στις ανθρακικές και οργανικές ενώσεις και τα οξείδια Fe και Mn (εκχύλιση με Na<sub>2</sub>EDTA)

Για τον προσδιορισμό των δεσμευμένων μορφών των βαρέων μετάλλων στα οξείδια του σιδήρου και μαγγανίου καθώς και σε ανθρακικές και οργανικές ενώσεις, 18,6g σκόνης Na<sub>2</sub>EDTA τοποθετούνται σε φιάλη των 1000ml, όπου μετά από καλή ανάδευση παρασκευάζεται το διάλυμα Na<sub>2</sub>EDTA 0,05M. Τοποθετούνται 10g δείγματος και 80ml διαλύματος Na<sub>2</sub>EDTA σε μπουκαλάκι και στη συνέχεια ανακινούνται στον αναδευτήρα στις 140 rpm για 15h. Ακολουθεί φυγοκέντρηση στις 3000 rpm για 10 λεπτά. Κατόπιν σε άλλο μπουκαλάκι, διηθείται με φίλτρο Macherey-Nagel MN 615<sup>1/4</sup> το υπερκείμενο υγρό για να αναλυθεί φασματοσκοπικά με τη μέθοδο της ατομικής απορρόφησης (GBS 908) και να προσδιοριστούν τα βαρέα μέταλλα (Clayton and Tiller, 1979). Σύμφωνα με τους Clayton and Tiller (1979) με το Na<sub>2</sub>EDTA εκχυλίζονται και οι ανταλλάξιμες μορφές, πέραν των δεσμευμένων μορφών στα οξείδια του σιδήρου και μαγγανίου και των δεσμευμένων στις ανθρακικές και οργανικές ενώσεις.

δ. Προσδιορισμός ολικών συγκεντρώσεων βαρέων μετάλλων (εκχύλιση με aqua regia)

Για τον προσδιορισμό των ολικών συγκεντρώσεων των βαρέων μετάλλων στα εδάφη, σε 1g εδάφους προστίθενται 4ml aqua regia (HNO<sub>3</sub>-HCl 1:3v/v) και μπαίνει σε πρόγραμμα του φούρνου μικροκυμάτων (θερμοκρασία 170°C και μέγιστη ισχύς 1000W) για 30' (Perkin-Elmer, 1996). Ο όγκος του δείγματος συμπληρώνεται έως τα 50ml με απιονισμένο νερό. Κατόπιν σε μπουκαλάκι, με φίλτρο Macherey-Nagel MN 615<sup>1/4</sup> διηθείται το υπερκείμενο υγρό για να αναλυθεί φασματοσκοπικά με τη μέθοδο της ατομικής απορρόφησης (GBS 908) και να προσδιοριστούν οι ολικές συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων.

Από την ολική συγκέντρωση του κάθε στοιχείου, κατόπιν αφαίρεσης των τριών πρώτων μορφών, προκύπτει ένα υπόλοιπο φορτίο το οποίο είναι συνδεδεμένο στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών. Τα βαρέα μέταλλα στις μεθόδους α, β, γ και δ μετρήθηκαν με φασματόμετρο της ατομικής απορρόφησης AAS GBS 908. Οι ανταλλάξιμες και υδατοδιαλυτές μορφές είναι ευκίνητες και επομένως διαθέσιμες για τα φυτά, ενώ οι δεσμευμένες στα ανθρακικά κι οργανικά τεμαχίδια, στα οξείδια του σιδήρου και μαγγανίου και στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών είναι ακινητοποιημένες μορφές (Adriano, 1986).

**Πίνακας 7.1:** Φυσικοχημικές ιδιότητες και κύρια στοιχεία εδαφών

	Org. matter (%)	pH	EC	ΙΑΚ	CaCO <sub>3</sub>	Ca	Mg	K	Na	P	N	C/N	BKB
			μS/cm	χιλιοστ./100 γρ.	(%)	(meq/100 γρ.)	(meq/100 γρ.)	(meq/100)	(meq/100)	(ppm)	(%)		(%)
1	1,4	8,5	2080	32,7	32,6	58,8	6,3	1,6	4,1	23,4	0,5	1,7	100
2	6,7	8,3	1550	29,3	29,6	39,8	12,1	0,9	0,2	211,8	1,4	2,6	100
3	1,1	7,8	222	36,2	28,0	31,2	4,4	1,0	2,1	54,1	0,3	2,1	100
4	0,5	8,5	650	42,5	30,1	45,9	12,2	1,1	3,1	19,7	0,4	0,7	100
5	0,3	8,5	177	32,6	33,0	52,4	6,5	0,3	0,3	23,4	0,3	0,7	100
6	4,7	8,1	362	35,6	21,9	38,5	7,1	0,5	0,4	33,2	0,3	7,8	100
7	1,5	8,6	1065	29,4	52,3	63,4	12,7	1,3	0,2	111,3	0,3	3,3	100
8	6,8	8,0	650	38,8	26,5	29,7	13,1	0,8	0,3	152,9	0,4	10,1	100
9	3,5	8,5	362	30,9	32,6	51,3	6,5	0,5	0,2	50,2	0,2	8,3	100
10	2,9	8,1	275	33,0	8,4	28,7	5,5	0,5	0,2	22,1	0,3	5,2	100
11	1,9	8,4	253	29,6	23,1	41,7	4,9	0,5	0,5	42,2	0,2	4,4	100
12	1,7	8,4	277	32,1	32,6	43,8	4,2	0,4	0,3	22,4	0,3	3,7	100
13	6,1	7,8	545	31,2	58,6	49,3	4,4	0,5	0,3	53,1	0,3	12,3	100
14	0,3	8,2	254	48,2	32,3	37,2	4,2	0,7	3,3	20,0	0,5	0,3	94,2
15	2,9	8,0	550	32,5	38,2	40,2	8,4	0,6	0,4	60,9	0,3	6,2	100
16	1,8	8,3	382	34,8	40,2	43,8	6,8	0,6	0,4	56,4	0,3	3,7	100
17	2,3	7,9	285	38,6	24,5	36,6	5,3	0,2	0,7	33,0	0,3	4,2	100
18	1,5	8,2	234	30,8	36,3	42,8	4,2	0,2	0,3	23,9	0,2	3,5	100
19	3,1	8,3	382	27,3	33,1	41,2	4,7	0,6	0,2	33,0	0,2	7,9	100
20	2,5	8,3	276	42,1	19,8	43,1	5,3	0,4	0,5	40,7	0,5	2,9	100
21	2,2	8,1	325	26,2	47,5	53,6	6,2	0,5	0,3	44,3	0,2	5,7	100
22	2,6	8,3	349	46,4	30,1	39,7	5,7	0,6	3,4	23,6	0,4	3,3	100
23	1,9	8,1	950	31,7	38,6	41,7	7,6	0,5	0,6	40,1	0,3	3,6	100
24	1,7	8,3	389	29,1	38,8	43,2	7,6	0,3	0,3	30,8	0,2	4,3	100
25	3,9	8,4	522	44,3	34,9	42,6	8,2	0,5	0,8	62,0	0,4	5,2	100
26	1,4	8,4	206	36,9	32,2	41,1	4,0	0,4	0,4	22,1	0,3	2,4	100
27	2,3	8,4	198	39,7	60,8	55,9	4,5	0,2	0,4	49,7	0,4	3,4	100
28	1,5	8,5	174	28,3	30,1	46,8	4,2	0,4	0,3	21,2	0,2	3,7	100
29	2,1	8,3	349	42,3	26,2	38,3	6,4	0,6	0,8	24,4	0,4	3,0	100
30	0,7	8,4	149	38,2	37,6	47,2	4,9	0,5	0,5	19,4	0,3	1,1	100
31	2,7	8,4	356	41,7	36,9	42,8	6,2	0,4	0,4	42,3	0,4	3,7	100
32	2,7	8,3	495	35,8	26,1	38,6	6,8	0,4	0,4	23,5	0,3	4,7	100
33	1,6	8,6	378	42,5	38,1	51,1	6,5	0,5	0,4	43,4	0,4	2,5	100
34	1,3	8,4	347	37,3	30,8	44,3	6,4	0,8	0,3	55,6	0,3	2,3	100
35	0,8	8,2	300	46,8	4,8	37,8	6,2	0,8	1,1	36,4	0,4	1,1	98,0
36	4,1	8,1	412	30,5	38,0	37,4	7,9	0,6	0,5	89,6	0,2	9,2	100
37	0,9	8,3	295	36,7	13,3	41,2	5,3	0,8	0,2	39,1	0,3	1,5	100
38	1,4	8,3	349	39,3	22,3	39,7	6,2	0,4	0,4	23,8	0,4	1,9	100
39	3,7	8,3	359	35,4	22,1	37,7	7,2	0,3	0,2	22,9	0,3	5,9	100
40	0,8	7,9	2000	38,2	23,2	33,1	11,7	1,4	0,5	32,8	0,4	1,2	100
41	1,2	8,3	211	35,7	25,8	38,6	4,1	0,2	0,3	22,1	0,3	2,4	100
42	1,5	8,0	411	37,8	36,8	41,6	7,6	0,5	0,3	32,5	0,3	2,6	100
<b>min</b>	<b>0,30</b>	<b>7,80</b>	<b>149,0</b>	<b>26,20</b>	<b>4,80</b>	<b>28,70</b>	<b>4,00</b>	<b>0,20</b>	<b>0,20</b>	<b>19,40</b>	<b>0,20</b>	<b>0,30</b>	<b>94,2</b>
<b>max</b>	<b>6,80</b>	<b>8,60</b>	<b>2080,</b>	<b>48,20</b>	<b>60,80</b>	<b>63,40</b>	<b>13,10</b>	<b>1,60</b>	<b>4,10</b>	<b>211,80</b>	<b>1,40</b>	<b>12,30</b>	<b>100</b>
<b>aver</b>	<b>2,30</b>	<b>8,26</b>	<b>484,6</b>	<b>35,93</b>	<b>31,64</b>	<b>42,70</b>	<b>6,67</b>	<b>0,59</b>	<b>0,73</b>	<b>44,98</b>	<b>0,35</b>	<b>3,96</b>	<b>99,81</b>
<b>s.d.</b>	<b>1,57</b>	<b>0,20</b>	<b>436,8</b>	<b>5,60</b>	<b>11,08</b>	<b>7,26</b>	<b>2,45</b>	<b>0,32</b>	<b>0,96</b>	<b>37,01</b>	<b>0,19</b>	<b>2,68</b>	<b>0,94</b>

### 7.3 Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά των εδαφών

Στον πίνακα 7.1 παρατίθενται οι φυσικοχημικές παράμετροι και τα κύρια στοιχεία των εδαφών της περιοχής έρευνας.

Για την περιγραφή των φυσικοχημικών παραμέτρων και χημικών στοιχείων των εδαφών χρησιμοποιήθηκαν σαν εργαλεία η διαγραμματική απεικόνιση σε ιστόγραμμα συχνοτήτων (κατηγοριοποίηση των τιμών της παραμέτρου σε κλάσεις) και η χωρική κατανομή (απεικόνιση των ισοπεριεκτικών καμπυλών των τιμών της παραμέτρου στο χώρο). Η χωρική κατανομή στα εδάφη, όπως και στα ύδατα, δημιουργήθηκε στο πρόγραμμα Surfer, βασισμένο στη μέθοδο παρεμβολής Kriging (βλ. κεφ. 7.3). Η γεωστατιστική εκτίμηση των εδαφικών παραμέτρων βασίστηκε σε βαριογράμματα εκθετικού, σφαιρικού και γραμμικού μοντέλου τα οποία έχει αποδειχθεί ότι περιγράφουν τη μεταβολή με την απόσταση και κατά μήκος καθορισμένων διευθύνσεων για ένα πλήθος εδαφολογικών ιδιοτήτων (Oliver 1984, Webster and Oliver 1990, Bai and Wang 2011, Abbas and Seyed 2011).

#### 7.3.1 Κοκκομετρική σύσταση

Τα ανόργανα συστατικά του εδάφους κατατάσσονται σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με το μέγεθος των κόκκων τους. Αυτές είναι (Bridges 1978, Δάβη 1990, Μήτσιος 2001):

- Άμμος (0,05-2mm)
- Ιλύς (0,002-0,05mm)
- Άργιλος (< 0,002mm)

Η εκατοστιαία αναλογία των παραπάνω συστατικών συνιστά την υφή ή αλλιώς την κοκκομετρική σύσταση του εδάφους. Τα ποσοστά άμμου, αργίλου και ιλύος στα δείγματα εδάφους της μελετώμενης επιφάνειας καθώς και ο λόγος:

$$\frac{\text{άμμος} + \text{ιλύς}}{\text{άργιλος}}$$

φαίνονται στον πίνακα 7.2. Ο λόγος αυτός είναι ενδεικτικός της σταθερότητας των εδαφικών συσσωματωμάτων και της επικινδυνότητας για υδατική διάβρωση. Όσο μεγαλύτερος είναι ο λόγος, τόσο μεγαλώνει ο δείκτης αστάθειας  $\beta$  και κατ' επέκταση αυξάνει η διαβρωσιμότητα του εδάφους (Δημογιάννης κ.α., 2007). Ο δείκτης αστάθειας  $\beta$  προσδιορίζει τη σταθερότητα που παρουσιάζουν τα εδαφικά τεμαχίδια διαμέτρου 2-4,75mm στη δράση του νερού και παίρνει τιμές από 0 (ιδεατή τιμή) έως 1 (Valmis et al., 1988).

Απ' τον πίνακα 7.2 παρατηρούμε ότι οι τιμές του λόγου:

$$\frac{\text{άμμος} + \text{ιλύς}}{\text{άργιλος}}$$

κυμαίνονται στα εδάφη της περιοχής από 1,73 έως 10,63, με μέσο όρο 5,4. Οι τιμές υποδεικνύουν πως τα εδάφη της περιοχής αντιμετωπίζουν υψηλό κίνδυνο στη διάβρωση. Η υψηλή επικινδυνότητα των εδαφών στη διάβρωση έχει προκληθεί προφανώς από την αποψίλωση των δασών λόγω των πυρκαγιών, από την υπερβόσκηση των λιβαδιών και κυρίως από τις λάθος καλλιεργητικές τεχνικές (μονοκαλλιέργειες, άρδευση με υφάλμυρα νερά, εντατική εφαρμογή αγροχημικών κλπ.) (FAO, 2012).

**Πίνακας 7.2:** Κοκκομετρική σύσταση και τιμές του λόγου [(άμμος+ ιλύς)/άργιλος] των εδαφικών δειγμάτων της περιοχής

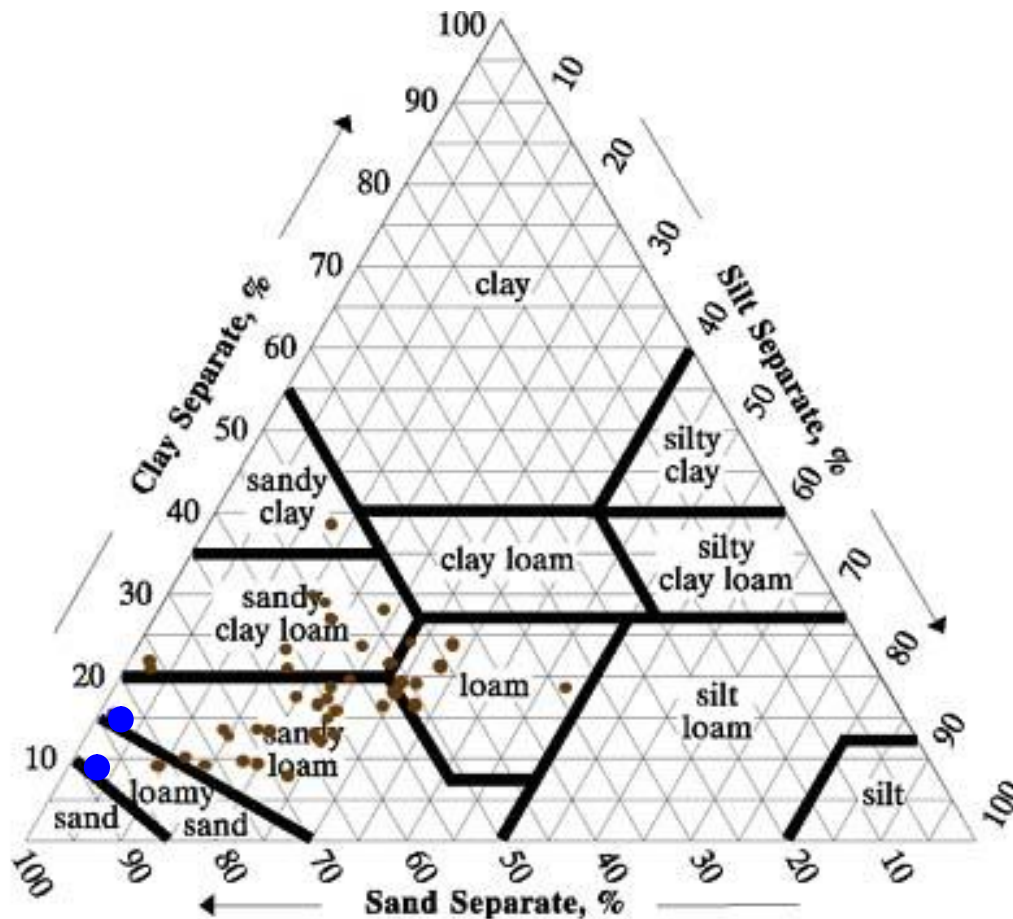
	ΑΜΜΟΣ	ΑΡΓΙΛΟΣ	ΙΛΥΣ	$\frac{\text{άμμος} + \text{ιλύς}}{\text{άργιλος}}$		ΑΜΜΟΣ	ΑΡΓΙΛΟΣ	ΙΛΥΣ	$\frac{\text{άμμος} + \text{ιλύς}}{\text{άργιλος}}$
<b>1</b>	50,8	36,6	12,6	1,73	<b>22</b>	48	24	28	3,17
<b>2</b>	72,8	12	15,2	7,33	<b>23</b>	59,8	17,6	22,6	4,68
<b>3</b>	62,8	17,6	19,6	4,68	<b>24</b>	58,8	18	23,2	4,56
<b>4</b>	83,4	13,2	3,4	5,17	<b>25</b>	54,4	27,2	18,4	2,68
<b>5</b>	86,8	9,6	3,6	9,42	<b>26</b>	52,4	18,6	29	4,38
<b>6</b>	76	21	3	3,76	<b>27</b>	50,4	19,6	30	4,1
<b>7</b>	79,8	9,2	11	9,87	<b>28</b>	68,4	13,2	18,4	6,58
<b>8</b>	76	20,6	3,4	3,24	<b>29</b>	44,4	23,6	32	3,24
<b>9</b>	72,8	12,6	14,6	6,94	<b>30</b>	34,4	18,2	47,4	4,49
<b>10</b>	62,4	20,6	17	3,85	<b>31</b>	50,8	21,6	27,6	3,63
<b>11</b>	69,8	12,6	17,6	6,94	<b>32</b>	62,4	12,6	25	6,94
<b>12</b>	51,8	15,6	32,6	5,41	<b>33</b>	52,4	23,6	24	3,24
<b>13</b>	82,4	8,6	9	10,63	<b>34</b>	46,4	20,6	33	3,85
<b>14</b>	55	29,6	15,4	2,38	<b>35</b>	54,4	28,6	17	2,5
<b>15</b>	60,8	13,6	25,6	6,35	<b>36</b>	68,4	8,6	23	10,63
<b>16</b>	59,4	16	24,6	5,25	<b>37</b>	61,4	22,6	16	3,42
<b>17</b>	54,4	16,2	29,4	5,17	<b>38</b>	48,4	27,6	24	2,62
<b>18</b>	60,4	15	24,6	5,67	<b>39</b>	63,2	13,6	23,2	6,35
<b>19</b>	71,4	9,6	19	9,42	<b>40</b>	61,8	16	22,2	5,25
<b>20</b>	49,8	19,6	30,6	4,1	<b>41</b>	72,4	10	17,6	9
<b>21</b>	76,8	9,6	13,6	9,42	<b>42</b>	55,8	19,6	24,6	4,1

Για την κατάταξη των εδαφών της περιοχής σε κατηγορίες βάση της κοκκομετρικής τους σύστασης, δημιουργήθηκε το αντίστοιχο τριγωνικό διάγραμμα (σχήμα 7.2) απ' το οποίο βλέπουμε πως η πλειοψηφία τους ανήκει στα αμμοπηλώδη και δευτερευόντως στα αμμο-αργιλοπηλώδη. Τα πρώτα παρουσιάζουν πολύ καλές συνθήκες στράγγισης και αερισμού αλλά σχετικά μικρή ικανότητα συγκράτησης υγρασίας και θρεπτικών στοιχείων, ενώ τα δεύτερα έχουν παρεμφερείς ιδιότητες παρουσιάζοντας όμως μεγαλύτερη πλαστικότητα και συνοχή και μικρότερους πόρους.

Η επικράτηση των χονδρόκοκκων κλασμάτων της άμμου στην πλειοψηφία των εδαφών της περιοχής εξηγείται από τις τοπικές συνθήκες του μητρικού υλικού. Το αλλουβιακό υλικό της περιοχής προέρχεται κυρίως από ανθρακικούς σχηματισμούς και δευτερευόντως από μεταμορφωμένα κρυσταλλικά πετρώματα. Η επικράτηση χονδρόκοκκων κλασμάτων της άμμου προκύπτει από την εξαλλοίωση των μικροκρυσταλλικών συσσωματωμάτων (Ζαφειρίου κ.α., 1998).

Πέραν των άλλων, η κοκκομετρική σύσταση παίζει σημαντικό ρόλο στη συγκράτηση των χημικών στοιχείων κι ιδιαίτερα των βαρέων μετάλλων. Τα υψηλά ποσοστά άμμου που παρατηρήθηκαν στα εδάφη της περιοχής, ευνοούν την απομάκρυνση στοιχείων από την επιφάνεια προς τα βαθύτερα στρώματα μέσω έκπλυσης (Kabata-Pendias & Pendias 1992, Τσαουσίδου κ.α. 2004). Επίσης τα υψηλά ποσοστά άμμου ευνοούν την κινητοποίηση κι έκπλυση των βαρέων μετάλλων προς τα βαθύτερα στρώματα και τον υπόγειο υδροφόρο (Sahuquillo et al., 2003).





**Σχήμα 7.2:** Τριγωνική ταξινόμηση εδαφών περιοχής κατά το US Department of Agricultural Bureau Industry Soils and Agricultural Engineering. Με μπλε χρώμα αποτυπώνονται τα σημεία εδάφους από τις εκβολές των δύο ποταμών (Ερασίνοσ και Μεγάλο Ρέμα)

### 7.3.2 Χρώμα

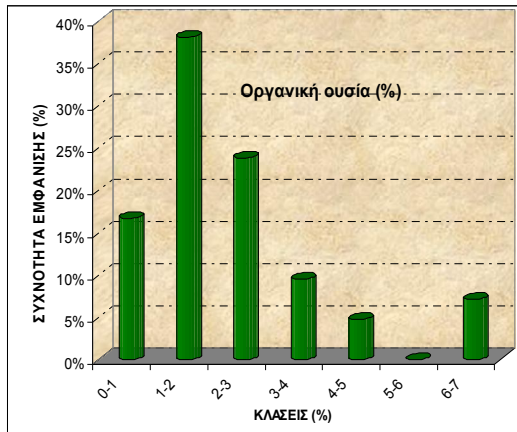
Αν και στην παρούσα έρευνα δεν εφαρμόστηκε κάποιο πρότυπο έκφρασης του χρώματος του εδάφους (όπως το CIE χρωματικό σύστημα, 1964), μπορούμε να επισημάνουμε την επικράτηση των καστανόχρωμων και καστανοκόκκινων εδαφών στην ευρύτερη περιοχή των Μεσογείων.

Μελέτες έχουν συσχετίσει το χρώμα των εδαφών με την οργανική ουσία (Baumgardner et al. 1979, Stoner & Baumgardner 1981, Henderson et al. 1992, Schulze et al. 1993) καθώς και με τη γένεση και την εξέλιξη των εδαφών (Μουστάκας 1990, Yassoglou 1997). Τα δείγματα Νο 2, 6, 8, 9, 13 και 25 της παρούσας έρευνας στα οποία παρατηρήθηκαν οι υψηλότερες τιμές οργανικής ουσίας παρουσίαζαν γκριζομαύρα και σκούρα χρώματα, σε αντίθεση με τα άλλα δείγματα που είχαν σαφώς ανοιχτότερα χρώματα.

### 7.3.3 Οργανική ουσία

Παρατηρούμε απ' τον πίνακα 7.1 πως λίγα εδάφη στην περιοχή έρευνας είναι πλούσια σε οργανική ουσία. Δείγματα από καλλιεργήσιμες περιοχές έδειξαν ελάχιστη ποσότητα οργανικής ουσίας. Οι τιμές κυμαίνονται από 0,3% έως 6,8% με μέσο όρο 2,3%. Η επικρατούσα κλάση είναι μεταξύ 1 και 2%. Η κατανομή παρουσιάζει θετική ασυμμετρία, όπως φαίνεται και στο διάγραμμα κατηγοριοποίησης των ποσοστών οργανικής ουσίας σε κλάσεις (σχήμα 7.3). Ο Hodgson (1963) διαπίστωσε πρώτος την ισχυρή σχέση μεταξύ οργανικής ουσίας και βαρέων μετάλλων.

Οι τιμές της οργανικής ουσίας ανταποκρίνονται στις καλλιεργητικές ανάγκες του αμπελιού που είναι 2-4% (www.iastate.edu), που καλλιεργείται κατά κόρον στην περιοχή.



**Σχήμα 7.3:** Ιστόγραμμα συχνοτήτων των ποσοτών οργανικής ουσίας



**Σχήμα 7.4:** Χωρική κατανομή οργανικής ουσίας (%) στην περιοχής έρευνας

Από το χάρτη ισοπεριεκτικών καμπυλών ποσοστού οργανικής ουσίας (σχήμα 7.4), εντοπίζονται φτωχότερες συγκεντρώσεις στις καλλιεργούμενες περιοχές (Σπάτων, Παλλήνης και Κορωπίου), όπως προκύπτει και βιβλιογραφικά (Χαϊντούτη, 1977). Υψηλές τιμές παρατηρήθηκαν στην παράκτια ζώνη, μεταξύ Αρτέμιδας και Βραυρώνας, καθώς και στο δυτικό και νότιο τμήμα της περιοχής, όπου καλύπτονται από φυσική βλάστηση.

Η κοίτη της εκβολής του Ερασίνου παρουσιάζει σχετικά υψηλές συγκεντρώσεις οργανικής ουσίας και ανόργανων στοιχείων, όπως θα παρουσιαστεί στη συνέχεια. Η υψηλή οργανική ουσία στην εκβολή του Ερασίνου οφείλεται στην ύπαρξη δέλτα και στη μεταφορά κι εναπόθεση υλικών που προκύπτουν από την άρδευση των καλλιεργειών (Jassby and Cloern 2000, Medina et al. 2005). Η εκβολή του Μεγάλου Ρέματος που δεν έχει δημιουργήσει δέλτα, παρουσιάζει πολύ μικρό ποσοστό οργανικής ουσίας.

### 7.3.4 Τιμές pH – οξύτητα εδαφών

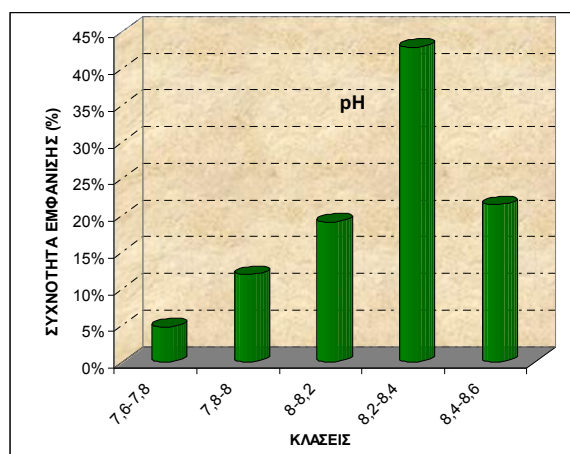
Γενικά, οι συνήθεις τιμές pH των εδαφών είναι από 4 έως 8,5 (Bache 1979, Alloway 1995). Οι υψηλές τιμές pH αποδίδονται στην παρουσία  $\text{CaCO}_3$  (Alloway, 1995). Το pH έχει μεγάλη σπουδαιότητα για την εδαφική υγεία και γονιμότητα διότι καθορίζει την απορρόφηση και συγκράτηση των θρεπτικών στοιχείων και ιχνοστοιχείων, την ανάπτυξη και απόδοση των φυτικών καλλιεργειών και τη δράση και ανάπτυξη των μικροοργανισμών.

Χαμηλά pH ευνοούν την απελευθέρωση θρεπτικών ιόντων, όπως τα  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$  μέσω της αποσάθρωσης των ορυκτών και της διαλυτότητας των αλάτων  $\text{CO}_3^{=}$ ,  $\text{SO}_4^{=}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$  (Μουστάκας, 1997). Χαμηλές τιμές pH επίσης αυξάνουν τη βιοδιαθεσιμότητα των βαρέων μετάλλων, ενώ πολύ χαμηλές τιμές (<4) προκαλούν τοξικότητα στα φυτά, ρήξη της ριζικής μεμβράνης κ.α. (Sposito, 1989).

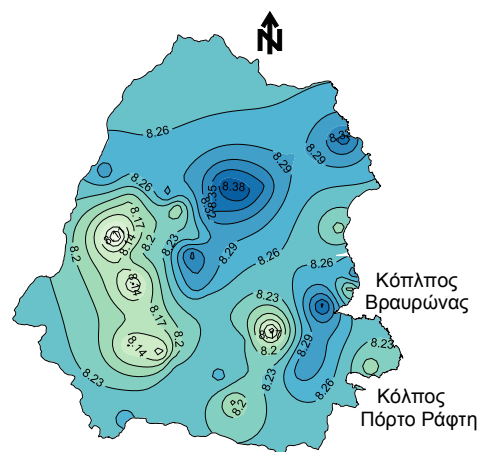
Από τον πίνακα 7.1 παρατηρούμε ότι, τα εδάφη της περιοχής είναι αλκαλικά (33%) έως πολύ αλκαλικά (67%), που αποδίδεται τόσο στην παρουσία  $\text{CaCO}_3$  (Alloway, 1995) όσο και στην έλλειψη επαρκούς βροχόπτωσης για έκπλυση των βασικών κατιόντων (Μουστάκας, 1990). Οι τιμές αυτές είναι οριακές για την

καλλιέργεια οπωροφόρων δένδρων κι όχι ιδανικές για τις λοιπές καλλιέργειες (πίνακας 1.1).

Το διάγραμμα συχνοτήτων για την ποσοτική κατηγοριοποίηση των εδαφών της περιοχής με βάση το pH αποτυπώνεται στο σχήμα 7.5, όπου φαίνεται η επικράτηση των αλκαλικών εδαφών. Οι υψηλότερες τιμές pH εμφανίζονται στην κλάση από 8,2 έως 8,4 κι ακολουθούν οι κλάσεις από 8,4-8,5 και 8-8,2.



Σχήμα 7.5: Ιστόγραμμα συχνοτήτων των τιμών pH



Σχήμα 7.6: Χωρική κατανομή pH

Στις περισσότερες θέσεις της περιοχής έρευνας επικρατούν υψηλά pH (>7,8). Οι τιμές pH στην περιοχή έρευνας σχετίζονται με την ορυκτολογική σύσταση του εδάφους. Η χωρική κατανομή (σχήμα 7.6) δείχνει εδάφη πολύ αλκαλικά στους πρόποδες της Πεντέλης που σχετίζονται με τα μεταμορφωμένα μητρικά πετρώματα (σχιστόλιθοι) και λιγότερο αλκαλικά στους πρόποδες του Υμηττού όπου αναπτύσσονται τα ανθρακικά μητρικά πετρώματα (ασβεστόλιθοι και δολομίτες).

Οι χαμηλότερες τιμές pH στα καλλιεργούμενα τμήματα του Μαρκόπουλου και Κορωπίου πιθανόν να οφείλονται στην οξίνιση που προκαλεί η χρήση αζωτούχων λιπασμάτων. Έχει διαπιστωθεί ότι, η προσθήκη 25mg N ανά 100gr εδάφους ελαττώνει το pH μέσα σε 6 εβδομάδες κατά 0,6 – 0,7 βαθμούς (Carter et al., 1967).

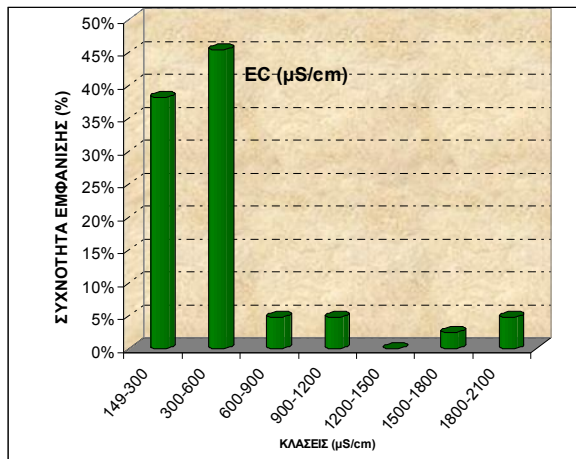
Το pH των εδαφών της περιοχής ενδείκνυται για την καλλιέργεια ελιάς που ευνοείται σε ουδέτερα προς αλκαλικά εδαφικά pH (7-8), αλλά αντενδείκνυται για το αμπέλι που απαιτεί πιο όξινα περιβάλλοντα (pH 6-6,5) (www.iastate.edu).

### 7.3.5 Ηλεκτρική αγωγιμότητα EC

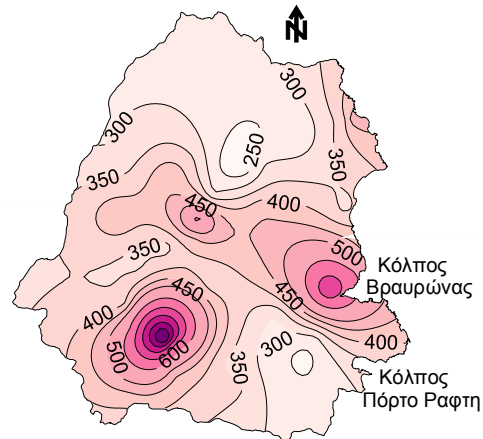
Η ηλεκτρική αγωγιμότητα εκφράζει το σύνολο των διαλυτών αλάτων στο έδαφος και εκφράζεται όπως και στα νερά σε  $\mu\text{mhos/cm}$  στους 25°C.

Τα εδάφη της περιοχής δεν παρουσιάζουν υψηλές τιμές αγωγιμότητας (πίνακας 7.1), συγκριτικά με τα νερά. Η ελάχιστη τιμή είναι 149  $\mu\text{S/cm}$ , η μέγιστη 2080  $\mu\text{S/cm}$  κι ο μέσος όρος 486  $\mu\text{S/cm}$ . Η κατανομή (σχήμα 7.7) παρουσιάζει θετική ασυμμετρία, με τις περισσότερες τιμές να εμφανίζονται στις δύο πρώτες κλάσεις (149-600  $\mu\text{S/cm}$ ).

Από το χάρτη χωρικής κατανομής οι υψηλότερες τιμές παρατηρούνται στο Κορωπί και στις όχθες του Ερασίνου. Υψηλή αγωγιμότητα παρουσιάζεται και στον καλλιεργούμενο κάμπο των Μεσογείων (σχήμα 7.8), πιθανότατα λόγω της άρδευσης με υφάλμυρα νερά του υδροφόρου (κεφάλαιο 8.9.3).



Σχήμα 7.7: Ιστόγραμμα συχνοτήτων των τιμών ηλεκτρικής αγωγιμότητας (μS/cm)

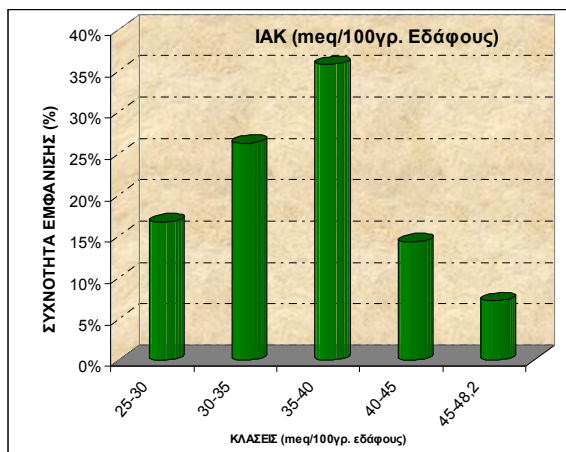


Σχήμα 7.8: Χωρική κατανομή ηλεκτρικής αγωγιμότητας EC (μS/cm)

### 7.3.6 Ικανότητα Ανταλλαγής κατιόντων (ΙΑΚ)

Η ΙΑΚ είναι η ποσότητα των προσροφημένων κατιόντων στην κolloειδή φάση του εδάφους και μετράται σε χιλιοϊστοδύναμα κατιόντων ανά 100 γραμμάρια εδάφους. Έχει σπουδαία σημασία στη θρέψη των φυτών καθώς τα ανταλλάξιμα ιόντα είναι αυτά που μπορούν να απορροφήσουν τα φυτά. Στα ορυκτά εδάφη η ΙΑΚ φθάνει το μέγιστο τα 60 χιλιοϊστοδύναμα/100γρ. εδάφους ενώ στα οργανικά υπερβαίνει τα 200χιλ/μα ανά 100 γρ. εδάφους (Γιάσογλου, 1992). Η τιμή της ΙΑΚ παρατηρείται συνήθως αυξημένη στους επιφανειακούς ορίζοντες λόγω μεγαλύτερης περιεκτικότητας σε οργανική ουσία (Wright and Foss, 1972). Η ΙΑΚ εξαρτάται από διάφορες φυσικοχημικές ιδιότητες του εδάφους, όπως το pH, η οργανική ουσία, η μηχανική σύσταση, τα ορυκτά της αργίλου, η ισόμορφη αντικατάσταση και η ύπαρξη οξειδίων και υδροξειδίων.

Στα εδάφη της περιοχής έρευνας παρατηρούνται κυρίως χαμηλές τιμές Ι.Α.Κ. που κυμαίνονται από 26,2 έως 48,2, με μέσο όρο 35,93 χιλιοϊστοδύναμα/100γρ. εδάφους. Το διάγραμμα συχνοτήτων για την κατηγοριοποίηση των εδαφών της περιοχής με βάση την ΙΑΚ αποτυπώνεται στο σχήμα 7.9. Η κλάση με την υψηλότερη συχνότητα εμφάνισης είναι μεταξύ 35 και 40 χιλιοϊστοδύναμα / 100gr εδάφους. Οι υψηλότερες τιμές παρατηρούνται στο δέλτα του Ερασίνου (42,5 χιλιοϊστοδύναμα/100γρ. εδάφους) και σε περιοχές του καλλιεργούμενου κάμπου των Μεσογείων (Σπάτα, Κορωπί: 42,1- 46,8 χιλιοϊστοδύναμα/100γρ. εδάφους - σχήμα 7.10).



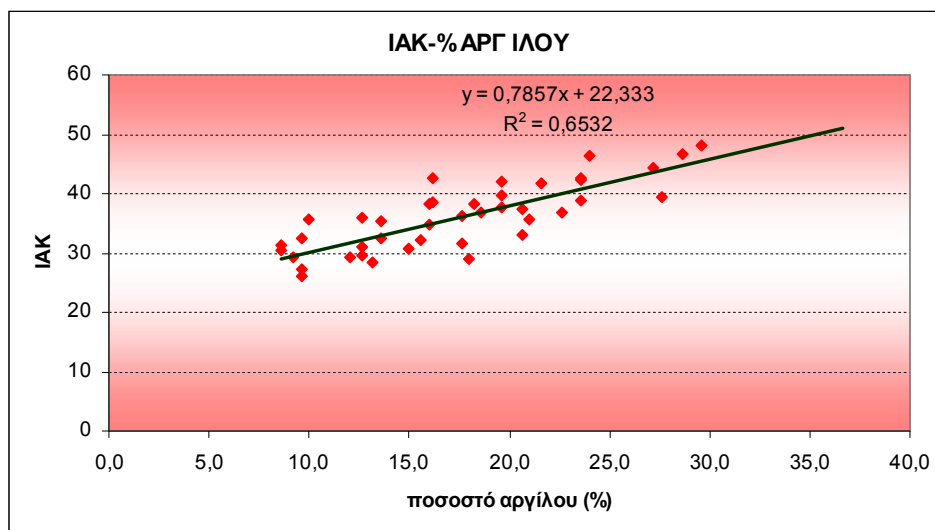
Σχήμα 7.9: Ιστόγραμμα συχνοτήτων των τιμών ΙΑΚ σε χιλιοϊστοδύναμα /100γρ. εδάφους



Σχήμα 7.10: Χωρική κατανομή ΙΑΚ (χιλιοϊστοδύναμα /100γρ. εδάφους)



Η σχέση μεταξύ του ποσοστού της αργίλου και της ΙΑΚ είναι συνήθως γραμμική (Wright and Foss 1972, Χαϊντούτη 1977, Γασπαράτος 2007). Αυτό οφείλεται στην ικανότητα συγκράτησης στοιχείων και κατιόντων στην αργιλική φάση του εδάφους (Adriano, 1986). Στα εδάφη της περιοχής, η σχέση είναι γραμμική με συντελεστή προσαρμογής  $R^2=0,65$  (σχήμα 7.11).



Σχήμα 7.11: Σχέση αργίλου – ΙΑΚ

Η σχέση της οργανικής ουσίας με την ΙΑΚ είναι επίσης γραμμική, χωρίς υψηλό συντελεστή προσαρμογής  $R^2$ , κάτι που οφείλεται στις αναλογίες των αργιλικών ορυκτών (Γιάσογλου, 1977).

### 7.3.7 Ισοδύναμο Ανθρακικό ασβέστιο (% $\text{CaCO}_3$ )

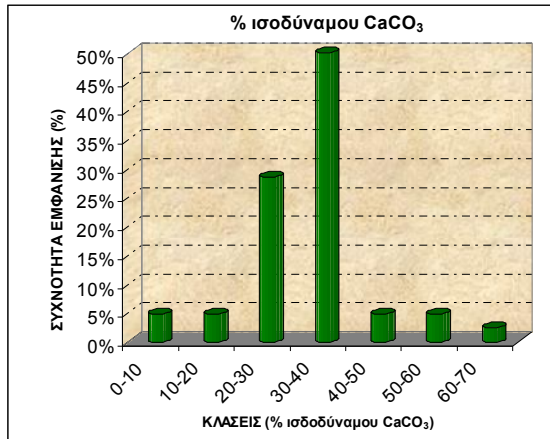
Οι ιζηματογενείς σχηματισμοί πετρωμάτων γύψου ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) και ανυδρίτου ( $\text{CaSO}_4$ ) περιέχουν μεγάλες ποσότητες ασβεστίου. Τα ασβεστολιθικά πετρώματα, γενικά, περιέχουν μεγάλες ποσότητες αλάτων ανθρακικού ασβεστίου και μικρότερες ποσότητες ανθρακικού μαγνησίου.

Το ελεύθερο διοξείδιο του άνθρακα, που περιέχεται στα νερά της βροχής και στα νερά άρδευσης διηθείται μέσω των ασβεστολιθικών πετρωμάτων, διαλύοντας και κινητοποιώντας κυρίως το ανθρακικό ασβέστιο και ακολούθως το μαγνήσιο, σαν υδατοδιαλυτά άλατα του διττανθρακικού ασβεστίου και μαγνησίου. Τα άλατα αυτά εμπλουτίζουν τα υπόγεια γερά και το εδαφικό νερό. Το ασβέστιο προκαλεί τη θρόμβωση των εδαφικών κολλοειδών, τα οποία παρουσιάζουν καλή διαπερατότητα και κυκλοφορία νερού και αέρα. Το  $\text{CaCO}_3$  συνήθως συγκεντρώνεται στο κλάσμα της ίλυος (Suarez and Rhoades, 1982).

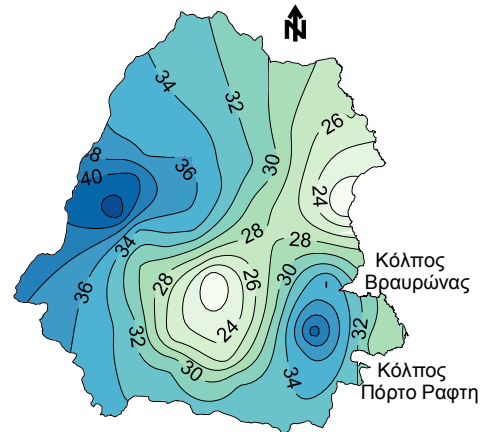
Στο γεωλογικό υπόβαθρο της περιοχής έρευνας απαντώνται πολλοί ασβεστόλιθοι ( $\text{CaCO}_3$ ). Λογική συνέπεια είναι τα εδάφη να περιέχουν υψηλό ποσοστό ανθρακικού ασβεστίου (πίνακας 7.1). Με βάση το διάγραμμα κατηγοριοποίησης των ποσοστών ισοδύναμου  $\text{CaCO}_3$  σε κλάσεις (σχήμα 7.12) οι περισσότερες τιμές εμφανίζονται μεταξύ 20 και 40%. Οι τιμές παρουσιάζουν ομοιόμορφη κατανομή με ελάχιστη τιμή 4,80%, μέγιστη τιμή 60,8% και μέσο όρο 31,6% ισοδύναμου  $\text{CaCO}_3$ .

Υψηλά ποσοστά ισοδύναμου  $\text{CaCO}_3$  παρατηρούνται στο δυτικό και νοτιοανατολικό τμήμα της περιοχής έρευνας, περιοχή Γλυκών Νερών και στη περιοχή μεταξύ Βραυρώνα και Μαρκόπουλο, όπου επικρατούν τα ασβεστολιθικά πετρώματα. Χαρακτηριστική είναι η χαμηλή περιεκτικότητα  $\text{CaCO}_3$  στην

καλλιεργούμενη περιοχή μεταξύ Σπάτων και Μαρκοπούλου και στην παράκτια περιοχή της Αρτέμιδας (σχήμα 7.13).



Σχήμα 7.12: Ιστόγραμμα συχνοτήτων ποσοστού ισοδύναμου CaCO<sub>3</sub>

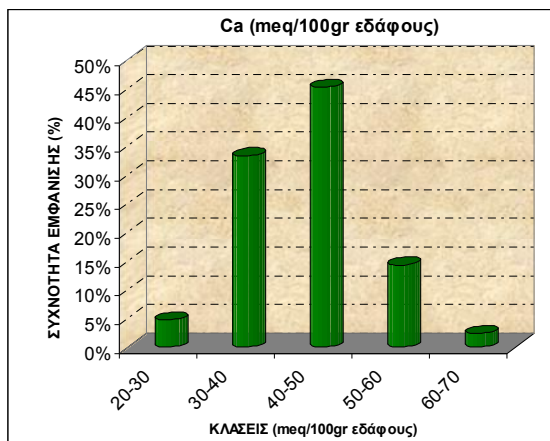


Σχήμα 7.13: Χωρική κατανομή ποσοστού ισοδύναμου CaCO<sub>3</sub>

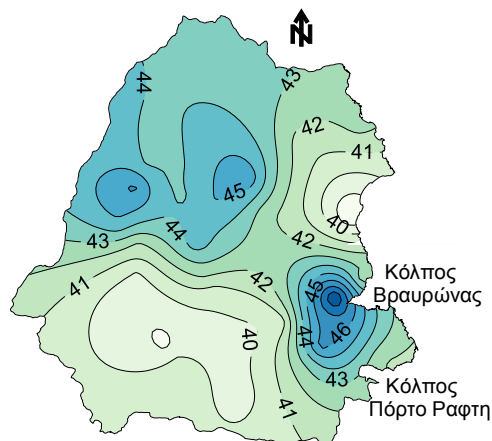
#### 7.4 Ανταλλάξιμα κατιόντα

**α) Ασβέστιο Ca:** Το ασβέστιο (Ca) όπως και το CaCO<sub>3</sub> αναμένεται να παρατηρηθεί σε περιοχές που έχουν ασβεστολιθούς σαν μητρικά πετρώματα. Οι τιμές του Ca, με βάση το διάγραμμα κατηγοριοποίησης αυτών σε κλάσεις, παρουσιάζουν κανονικότητα κατανομής με μέγιστη τιμή 63,4 και μέσο όρο 42,7 meq/100gr εδάφους (σχήμα 7.14). Οι περισσότερες τιμές παρατηρούνται μεταξύ 30 και 50 meq/100gr εδάφους (σχήμα 7.14). Από τα ανταλλάξιμα κατιόντα, το ασβέστιο παρουσιάζει τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις (πίνακας 7.1).

Στο σχήμα 7.15 παρουσιάζεται ο χάρτης ισοπεριεκτικών καμπυλών των εδαφικών συγκεντρώσεων Ca, απ' όπου προκύπτει ομοιότητα με τη χωρική κατανομή του CaCO<sub>3</sub>. Υψηλές τιμές παρατηρούνται, όπως και στο CaCO<sub>3</sub>, στην περιοχή Γλυκών Νερών, στη Βραυρώνα και στο Μαρκόπουλο, επάνω από ασβεστολιθικά πετρώματα. Οι χαμηλότερες συγκεντρώσεις παρατηρούνται στο νοτιοδυτικό και βορειοανατολικό τμήμα της καλλιεργούμενης περιοχής Κορωπίου και της Αρτέμιδας.



Σχήμα 7.14: Ιστόγραμμα συχνοτήτων συγκεντρώσεων ασβεστίου Ca (meq/100gr εδάφους)



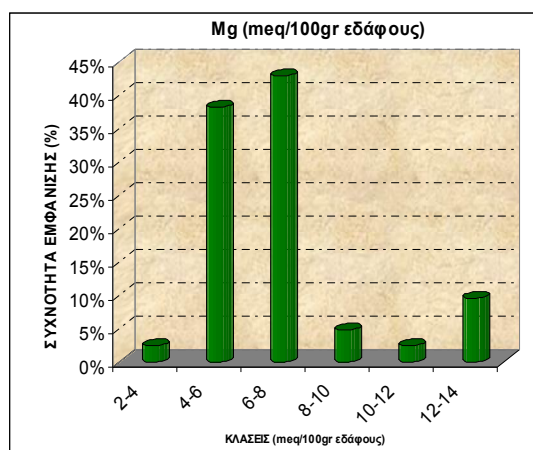
Σχήμα 7.15: Χωρική κατανομή ασβεστίου Ca (meq/100gr εδάφους)

**β) Μαγνήσιο Mg:** Τα κυριότερα άλατα μαγνησίου που περιέχονται στα εδάφη προέρχονται από διαβρώσεις μαγνησιούχων ορυκτών που είναι:

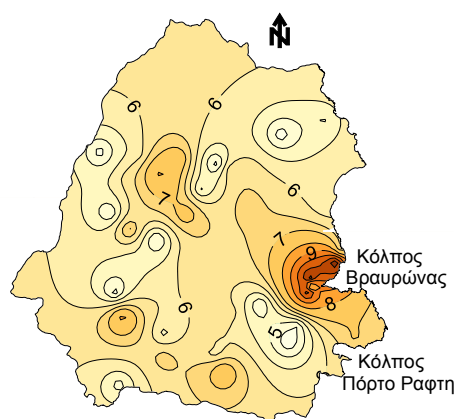
- Οι μαγνησίτες, με περιεκτικότητα ανθρακικού μαγνησίου ( $MgCO_3$ ) >75%.
- Οι δολομίτες, που είναι συγκρυστάλλωση ( $CaCO_3 \cdot MgCO_3$ )
- Τα ορυκτά καρναλίτου, καϊνίτου, ολιβίνου, σερπεντίνου κ.ά. ( $KCl \cdot MgCl_2 \cdot H_2O$ ), ( $KCl \cdot MgSO_4 \cdot H_2O$ ), ( $Mg_2SiO_4$ ), ( $H_4Mg_3Si_2O$ ) κ.ά.
- Οι κολλοειδείς ορυκτές ενώσεις μοντμοριλονίτου ( $CaO \cdot MgO \cdot Al_2O_3 \cdot SiO_2 \cdot 5H_2O$ ).
- Τα άλατα χλωριούχου, θεικού, νιτρικού, όξινα και δισόξινα φωσφορικά, διττανθρακικά μαγνησίου κ.ά. « $MgCl_2$ ,  $MgSO_4$ ,  $MgNO_3$ ,  $Mg_2HPO_4$ ,  $MgH_2PO_4$ ,  $Mg(HCO_3)_2$ » (Μαλεφάκης, 1998). Η προέλευση του μαγνησίου στα εδάφη της περιοχής σχετίζεται κυρίως με την αποσάθρωση των ορυκτών του ανθρακικού μαγνησίου των ανθρακικών σχηματισμών που αναπτύσσονται στην περιοχή έρευνας.

Στο σχήμα 7.16 παρουσιάζεται η κατηγοριοποίηση των συγκεντρώσεων μαγνησίου των εδαφών σε κλάσεις. Η κατανομή παρουσιάζει θετική ασυμμετρία επιβεβαιώνοντας την επικράτηση χαμηλών συγκεντρώσεων στα εδάφη με μέσο όρο τα 6,65 meq Mg/100gr εδάφους. Η κλάση με τη μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης είναι η 6-8 meq Mg/100gr εδάφους και ακολουθεί η 4-6 meq Mg/100gr εδάφους (σχήμα 7.16).

Στο σχήμα 7.17 παρουσιάζεται η χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων Mg των εδαφών στην περιοχή έρευνας. Η εκβολή του Ερασίνου παρουσιάζει τις μέγιστες τιμές δείχνοντας τη μεταφορά και συσσώρευση υλικών πλούσιων σε μαγνήσιο.



**Σχήμα 7.16:** Ιστόγραμμα συχνοτήτων συγκεντρώσεων μαγνησίου Mg (meq/100gr εδάφους)



**Σχήμα 7.17:** Χωρική κατανομή μαγνησίου Mg (meq/100gr εδάφους)

**γ) Κάλιο K:** Στα ιζηματογενή εδάφη περιέχονται σημαντικές ποσότητες υδατοδιαλυτών αλάτων καλίου ( $KCl$ ,  $K_2SO_4$ ,  $KNO_3$ ,  $KH_2PO_4$ ,  $KHPO_4$  κ.α.), οργανικά άλατα καλίου (χουμικά, τρυγικά, κιτρικά κ.α.) απόβλητα και λύματα βιομηχανιών, αστικά λύματα, φυτικά και ζωικά κατάλοιπα κ.α.

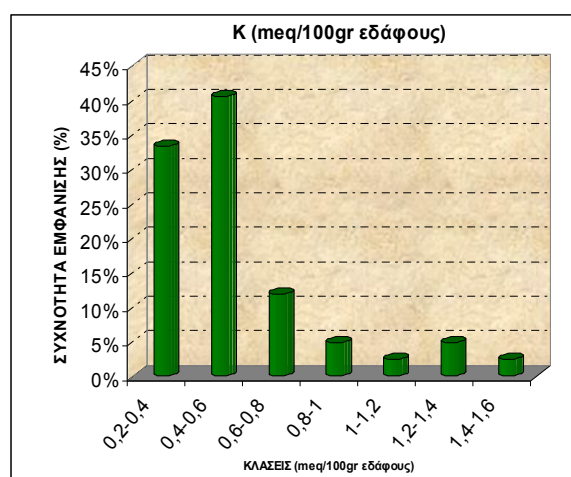
Με τα νερά απορροής τα υδατοδιαλυτά άλατα του καλίου κινητοποιούνται και μεταφέρονται στα υπόγεια υδροφόρα, στις λίμνες, στα ποτάμια και στη θάλασσα. Τα ζωικά απόβλητα και τα νερά άρδευσης των καλλιεργειών εμπλουτίζουν το εδαφικό νερό με υδατοδιαλυτά άλατα καλίου, τα οποία συγκρατούνται από τα κολλοειδή των εδαφών και εναλλάσσονται με άλλα ιόντα θετικού φορτίου.

Η περιεκτικότητα σε κάλιο των ιζηματογενών πετρωμάτων ανέρχεται περίπου στο 2,6%. Γενικά στα εδάφη η περιεκτικότητα καλίου κυμαίνεται από 0,1-1% και εξαρτάται πάντοτε από την περιεκτικότητά τους σε αργιλικά κολλοειδή, στα οποία η περιεχόμενη ποσότητα καλίου κυμαίνεται συνήθως μεταξύ 3 και 4%. Σημαντικές

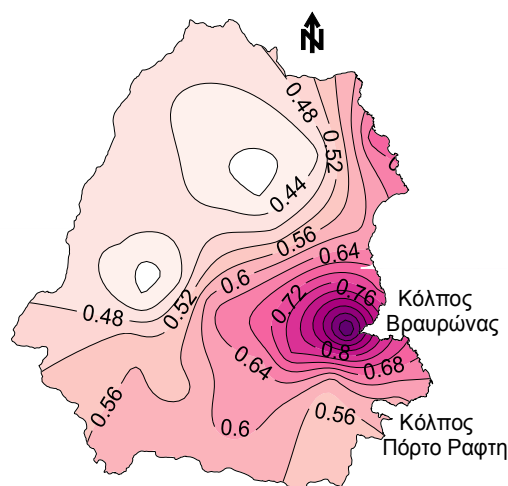
ποσότητες καλίου περιέχονται και στα έλη. Το ασβέστιο μειώνει την πρόσληψη νερού στα φυτά και αυξάνει τη διαπνοή, όταν η σχέση καλίου/ασβεστίου ( $r\ K/Ca$ ) στα εδάφη κυμαίνεται από 1/2 έως 2/3 (Kanwar, 1961).

Η κατανομή του καλίου στα εδάφη της περιοχής παρουσιάζει θετική ασυμμετρία με μέσο όρο τιμών 0,59 meq K / 100gr εδάφους. Η κλάση με τη μεγαλύτερη συχνότητα περιέχει τις τιμές από 0,4 έως 0,6 meq K / 100gr εδάφους (σχήμα 7.18).

Η χωρική κατανομή του καλίου στα εδάφη δείχνει την επικράτηση εδαφών πλουσιών σε κάλιο στις παραθαλάσσιες περιοχές της Ραφήνας και της Βραυρώνας, καθώς και στην καλλιεργούμενη περιοχή του Κορωπίου (σχήμα 6.19). Η ύπαρξη του καλίου στα εδάφη της περιοχής αποδίδεται, εκτός της αποσάθρωσης των καλιούχων πρωτογενών ορυκτών όπως είναι οι σχιστόλιθοι και τα υπολειμματικά άλατα εβαποριτών, και στην άρδυσή τους με υφάλμυρα νερά (Stamatis et al., 2006). Η ικανότητα δέσμευσης του καλίου του νερού άρδευσης από τα κολλοειδή των εδαφών ενισχύει την ύπαρξή του στα αρδευόμενα αγροτεμάχια. Η υψηλότερη συγκέντρωση στο δέλτα του Ερασίνου αποδίδεται στην ιδιότητα του καλίου να συσσωρεύεται στα έλη (Kanwar, 1961).



Σχήμα 7.18: Ιστόγραμμα συχνοτήτων συγκεντρώσεων Καλίου K (meq/100gr εδάφους)



Σχήμα 7.19: Χωρική κατανομή Καλίου K (meq/100gr εδάφους)

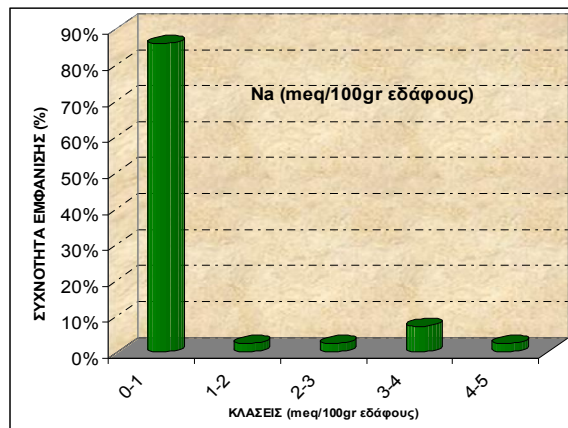
**δ) Νάτριο Na :** Το νάτριο προκαλεί τη διασπορά των εδαφικών κολλοειδών, αυξάνει τη διόγκωση τους και τα καθιστά δύσκολα περατά, με πολύ κακή κυκλοφορία νερού και αέρα (Richards et al., 1956). Αρκετά λιπάσματα περιέχουν στη σύστασή τους το νιτρικό νάτριο ( $NaNO_3$ ) συμβάλλοντας στην προσθήκη νατρίου στα εδάφη.

Στην περιοχή έρευνας παρατηρούνται μεμονωμένες περιπτώσεις πολύ υψηλών συγκεντρώσεων νατρίου. Με βάση το διάγραμμα συχνοτήτων της ποσοτικής κατηγοριοποίησης των συγκεντρώσεων νατρίου σε κλάσεις, η πλειοψηφία ανήκει στην κλάση με τις χαμηλότερες τιμές, από 0 έως 1 meq Na/100gr εδάφους (σχήμα 7.20). Οι υψηλότερες τιμές (1,60 meq/100gr εδάφους και 4,10 meq/100gr εδάφους) παρατηρήθηκαν στην παράκτια ζώνη, μεταξύ Αρτέμιδας και Βραυρώνας. Η προέλευσή των συγκεντρώσεων νατρίου αποδίδεται αφενός στην αποσάθρωση των υπολειμματικών αλάτων των εβαποριτών που βρίσκονται στα Νεογενή ιζήματα της περιοχής (Stamatis et al., 2006) και αφετέρου στην διείσδυση του θαλασσινού νερού στην παράκτια ζώνη.

Στο σχήμα ισοπεριεκτικών καμπυλών των συγκεντρώσεων Na των εδαφών της περιοχής έρευνας παρατηρούνται αλατούχα εδάφη στην παράκτια ζώνη καθώς και στις εκβολές των 2 ποταμών (σχήμα 7.21). Προφανώς, η εναπόθεση θαλάσσιου



αερολύματος στα εδάφη της παράκτιας ζώνης, σε συνδυασμό με την υψηλή στάθμη του επηρεασμένου από την θάλασσα υδροφόρου, έχουν συντελέσει στην αλάτωση αυτών των εδαφών.



**Σχήμα 7.20:** Ιστόγραμμα συχνοτήτων συγκεντρώσεων νατρίου Na (meq/100gr εδάφους)



**Σχήμα 7.21:** Χωρική κατανομή Na (meq/100gr εδάφους)

Οι υψηλές συγκεντρώσεις νατρίου που παρατηρούνται στην παράκτια ζώνη, φανερώνουν ότι, τα εδάφη έχουν υποστεί αλάτωση. Η αλάτωση ευνοείται σε περιοχές σαν τη μελετώμενη, ήπιου αναγλύφου, όπου η στάθμη του εδαφικού νερού φθάνει κοντά στην επιφάνεια του εδάφους, με χαμηλό ύψος βροχής (λόγω της αδυναμίας έκπλυσης των αλάτων προς τις κατώτερες εδαφικές στρώσεις) καθώς και κοντά σε παράκτιες ζώνες και δέλτα ποταμών. Στην παράκτια ζώνη της περιοχής έρευνας η στάθμη του νερού μετρήθηκε μόλις 0,5m κάτω απ' την επιφάνεια του εδάφους (πίνακας VII του Παραρτήματος). Η διείσδυση της θάλασσας στον υπόγειο υδροφόρο καθώς κι η άρδευση με υφάλμυρα νερά αποτελούν αθροιστικούς παράγοντες δημιουργίας αλάτωσης στα εδάφη της περιοχής. Τα εδάφη που έχουν υποστεί αλάτωση είναι πλούσια σε διαλυτά άλατα όπως το ανθρακικό νάτριο ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), το όξινο ανθρακικό νάτριο ( $\text{NaHCO}_3$ ), το θειικό νάτριο ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ), το χλωριούχο νάτριο ( $\text{NaCl}$ ) (Eswaran et al. 2001, Gobin et al. 2002).

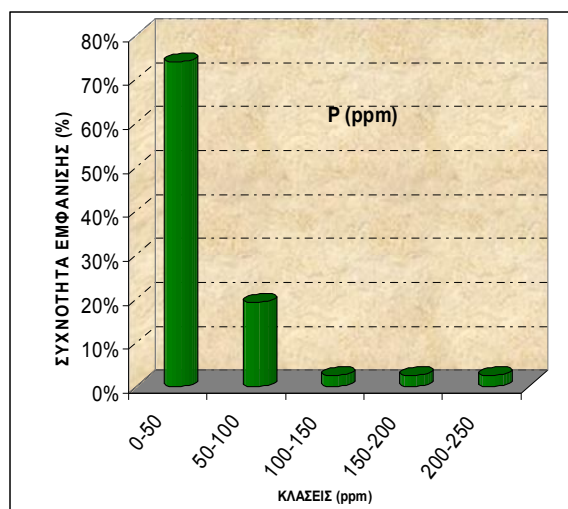
## 7.5 Φώσφορος P

Οι μεγαλύτερες ποσότητες φωσφόρου (P) περιέχονται στα ιζηματογενή πετρώματα, στους αλλουβιακούς σχηματισμούς, στα εδάφη, στα οστά των ζωντανών και νεκρών ζωικών οργανισμών, στα φυτά και τα φυτικά υπολείμματα. Υπολογίζεται ότι η ολική περιεχόμενη ποσότητα φωσφόρου (P) στις αναφερόμενες πηγές κυμαίνεται από 0,07 – 0,13%. Τα συνήθη φωσφορικά άλατα των εδαφών και των μητρικών πετρωμάτων είναι αρκετά δυσδιάλυτα, όπως το φωσφορικό αργίλιο  $\text{AlPO}_4$ , ο φωσφορικός σίδηρος  $\text{FePO}_4$ , ο απατήτης  $[\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}]$  κλπ. Ευδιάλυτα είναι μόνο τα δισόξινα φωσφορικά άλατα του ασβεστίου  $[\text{HCaPO}_4, \text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2]$ . Ο απατήτης θεωρείται το ορυκτό με τη μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε φώσφορο (Schlesinger 1991, Filippelli 2002, Busman et al. 2009).

Η φυσική προέλευση φωσφόρου που συνδέεται με την αποσάθρωση των φωσφορούχων ορυκτών των μητρικών πετρωμάτων είναι σημαντικά περιορισμένη, λόγω της δυσδιάλυτότητας τους. Ο φώσφορος στα εδάφη συνήθως προέρχεται από ανθρώπινες δραστηριότητες όπως απόβλητα, λύματα, παραγωγή και χρήση φωσφορικών λιπασμάτων, απορρυπαντικά, τέφρα ζωικών και φυτικών τροφίμων, φυτικοί ιστοί, ζωικοί και ανθρώπινοι σκελετοί, οστά και σάρκες. Ο φώσφορος

απαντάται τόσο στην οργανική όσο και στην ανόργανη μορφή του στο έδαφος. Οι πιο σημαντικές μορφές φωσφόρου είναι οι ανόργανες ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$ ) οι οποίες και διαμορφώνουν τη διαθεσιμότητα του φωσφόρου για τα φυτά (Tisdale and Nelson, 1975).

Το εδαφικό νερό εμπλουτίζεται με υδατοδιαλυτά άλατα φωσφόρου μέσω των φωσφορικών λιπασμάτων (οργανικών και ανόργανων), των φωσφορικών εδαφοβελτιωτικών και των φυτοφαρμάκων. Τα ριζικά κύτταρα και τα στόματα των φύλλων των διαφόρων καλλιεργειών απορροφούν τα υδατοδιαλυτά άλατα φωσφόρου στη διάρκεια της ανάπτυξης, της συντήρησης, της καρποφορίας και της παραγωγής. Στα αλκαλικά εδάφη μειώνεται σημαντικά η διαλυτότητα του φωσφόρου (Talibudeen and Arambarri, 1964). Ο φώσφορος (όπως το στρόντιο κι ο μόλυβδος) συσσωρεύονται επιλεκτικά σε ασβεστούχα εδάφη (Zavarin, 1999).



Σχήμα 7.22: Ιστόγραμμα συχνοτήτων συγκεντρώσεων φωσφόρου P (ppm)



Σχήμα 7.23: Χωρική κατανομή συγκεντρώσεων φωσφόρου P (ppm)

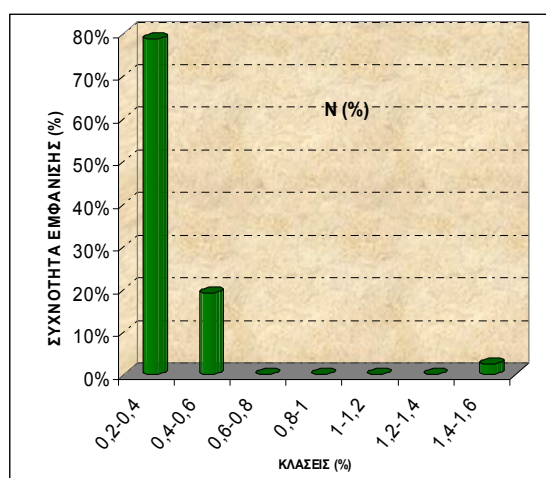
Στην περιοχή ανιχνεύθηκαν σχετικά υψηλές τιμές φωσφόρου στο νοτιοανατολικό τμήμα της περιοχής. Η παρουσία τους αποδίδεται κυρίως σε ανθρωπογενείς παράγοντες. Οι τιμές παρουσιάζουν μεγάλο εύρος, που κυμαίνονται από 19,42 έως 211,80 ppm και μέσο όρο τα 45,28 ppm. Στο σχήμα 7.22 αποτυπώνεται η κατηγοριοποίηση των εδαφών της περιοχής έρευνας σε κλάσεις με βάση τη συγκέντρωση σε φώσφορο. Η κλάση με τη μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης είναι από 0-50ppm, ωστόσο παρατηρούνται τιμές έως και 211,8 ppm.

Πιθανότερες πηγές φωσφόρου στην περιοχή έρευνας είναι η προσθήκη εδαφοβελτιωτικών και η ρίψη υγρών αποβλήτων. Πάραυτα, οι υψηλές τιμές P καλύπτουν τις ανάγκες των καλλιεργούμενων φυτικών ειδών στην περιοχή και κυρίως του αμπελιού που προϋποθέτει την παρουσία υψηλών συγκεντρώσεων φωσφόρου >30 ppm P (www.iastate.edu). Η αλκαλικότητα που παρατηρείται στα εδάφη της περιοχής (πίνακας 7.1) δυσχεραίνει τη διαλυτότητα του φωσφόρου (Μαλεφάκης, 1998). Η υψηλότερη τιμή (212 ppm), που αποκλίνει πολύ απ' τις υπόλοιπες, βρέθηκε σε πλούσιο σε οργανική ουσία έδαφος, δίπλα σε λιμνάζοντα νερά πηγής και πλησίον κτηνοτροφικής εγκατάστασης, όπως αποτυπώνεται στο χάρτη ισοπεριεκτικών καμπυλών της συγκέντρωσης φωσφόρου των εδαφών της περιοχής έρευνας (σχήμα 7.23). Η παρουσία του οφείλεται στην ικανότητα δέσμευσης αυτού από την οργανική ουσία (Alloway 1995, Kabata-Pendias and Sadurski 2004, Καλλιάνου 2007) και κυρίως στην απόληξη των κτηνοτροφικών αποβλήτων.

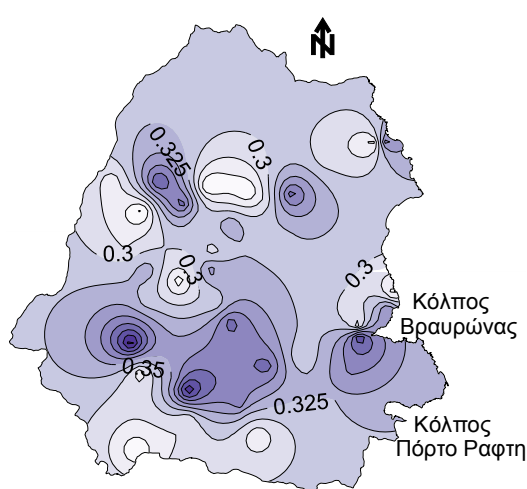
## 7.6 Άζωτο N (%)

Το άζωτο της ατμόσφαιρας δεσμεύεται από τα αζωτοφυμάτια που αναπτύσσονται κυρίως στο ριζικό σύστημα των ψυχανθών. Συγκρατείται στα εδάφη είτε από τα κolloειδή των εδαφών αναγόμενα σε ιόντα αμμωνίου ( $\text{NH}_4^+$ ), τα οποία δεσμεύονται και εναλλάσσονται με άλλα κατιόντα του εδαφικού νερού, είτε σαν νιτρικά ιόντα ( $\text{NO}_3^-$ ) (Μαλεφάκης, 1998).

Στα εδάφη περιέχονται πάντοτε μικρότερες ποσότητες νιτρικών ιόντων από εκείνες των αμμωνιακών. Τα νιτρικά άλατα εκπλένονται ταχύτερα των θεικών. Τα φυτικά και ζωικά κατάλοιπα των νεκρών φυτικών και ζωικών οργανισμών συμπεριλαμβανομένου και του ανθρώπινου, περιέχουν σημαντικές ποσότητες αζωτούχων χημικών ενώσεων και κυρίως πρωτεϊνούχων. Η σημαντικότερη πηγή άντλησης αζώτου των φυτικών καλλιεργειών από τα εδάφη είναι η χουμοποίηση των ζωικών και φυτικών κατάλοιπων και τροφίμων. Το άζωτο είναι απαραίτητο για την ανάπτυξη και την καρποφορία των καλλιεργειών (Μαλεφάκης, 1998).



Σχήμα 7.24: Ιστογράμμο συχνότητων ποσοστού αζώτου N (%)



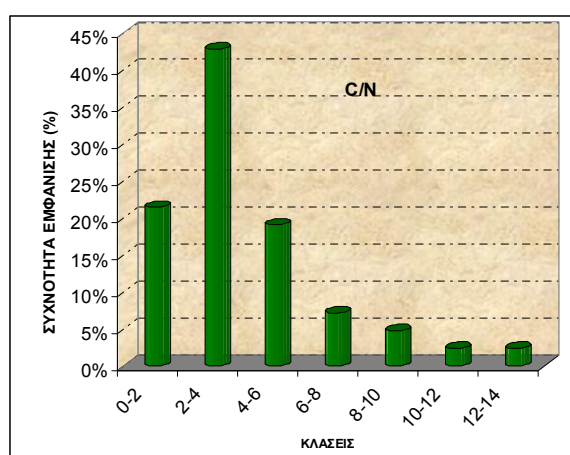
Σχήμα 7.25: Χωρική κατανομή αζώτου N (%)

Σύμφωνα με τα δεδομένα της διεθνούς βιβλιογραφίας, οι τιμές του ολικού αζώτου κυμαίνονται από 0,03-0,14%. Οι τιμές στους επιφανειακούς ορίζοντες είναι μεγαλύτερες συγκριτικά με τους κατώτερους (Zonn 1986, Jewitt et al. 1959). Το ποσοστό αζώτου στην περιοχή έρευνας παρουσιάζει υψηλές τιμές γύρω στο 0,35% χωρίς μεγάλες διακυμάνσεις. Με βάση το διάγραμμα κατηγοριοποίησης του ποσοστού αζώτου των εδαφών της περιοχής, η κλάση με τη μεγαλύτερη συχνότητα είναι από 0,21 έως 0,40% (σχήμα 7.24). Η κατανομή παρουσιάζει θετική ασυμμετρία. Όπως και στον φώσφορο και την οργανική ουσία, η υψηλότερη τιμή του αζώτου (1,41%) παρατηρείται στην περιοχή δίπλα στα λιμνάζοντα νερά πηγής και πλησίον κτηνοτροφικής εγκατάστασης, λόγω του εμπλουτισμού του εδάφους με τα λύματα της κτηνοτροφικής μονάδας.

Στη χωρική κατανομή (σχήμα 7.25), οι υψηλότερες συγκεντρώσεις εμφανίζονται στις έντονα καλλιεργούμενες περιοχές του κάμπου των Μεσογείων. Προφανώς οι υψηλές συγκεντρώσεις σχετίζονται με την προσθήκη αζωτούχων λιπασμάτων και οργανικής ύλης ζωικής προέλευσης. Σε σύγκριση της χωρικής κατανομής των νιτρικών ιόντων στα υπόγεια νερά (σχήμα 7.29) και αυτής των εδαφών, δείχνει επίσης υψηλές τιμές στο νότιο τμήμα του καλλιεργούμενου κάμπου, κάτι που ενισχύει την άποψη έκπλυσης των νιτρικών από τον εδαφικό ορίζοντα προς τον αβαθή φρεατικό υδροφόρο.

## 7.7 Ο λόγος C/N

Ο δείκτης C/N είναι ενδεικτικός της δραστηριότητας των μικροοργανισμών, του ρυθμού χουμοποίησης, του ποσού οργανικής ουσίας που μπορεί να διατηρήσει ένα έδαφος και κατ' επέκταση και της γονιμότητας του εδάφους (Parson and Tinsley, 1975). Όσο προχωράει η διαδικασία της χουμοποίησης τόσο μειώνεται ο λόγος C/N και η δραστηριότητα των μικροοργανισμών. Υψηλές τιμές του λόγου αντιπροσωπεύουν γόνιμα εδάφη που μπορούν να συγκρατήσουν πολλή οργανική ουσία κι ευνοούν τη δραστηριότητα των μικροοργανισμών. Υπέρβαση της τιμής 25, υποδεικνύει την έλλειψη αζώτου, το οποίο είναι απαραίτητο για τη συντήρηση των μικροοργανισμών (Μουστάκας, 1997). Τιμές του λόγου γύρω στο 10 αντιστοιχούν σε πλήρη χουμοποίηση. Τιμές μεγαλύτερες του 10 φανερώνουν μη πλήρη αποσύνθεση της οργανικής ουσίας ενώ μικρότερες του 10 φανερώνουν την ύπαρξη ανόργανου αζώτου (Χαϊντούτη, 1977). Σύμφωνα με τον Duchaufour (1970) οι συνήθεις τιμές του λόγου στα καλλιεργούμενα εδάφη κυμαίνονται μεταξύ 8 και 10.



Σχήμα 7.26: Ιστογράμμα συχνοτήτων του λόγου C/N



Σχήμα 7.27: Χωρική κατανομή λόγου C/N

Στην περιοχή έρευνας παρατηρούνται εδάφη με χαμηλό δείκτη C/N. Οι λόγοι στην πλειοψηφία τους παρουσιάζουν τιμές μεταξύ 0,30 και 6,00. Σύμφωνα με το διάγραμμα συχνοτήτων της ποσοτικής κατηγοριοποίησης των τιμών του λόγου C/N σε κλάσεις, η κλάση με τη μεγαλύτερη συχνότητα είναι η δεύτερη (από 2 έως 4 - σχήμα 7.26). Η κατανομή του ιστογράμματος παρουσιάζει ομοιότητες με αυτήν της οργανικής ουσίας, με θετική ασυμμετρία.

Η χωρική κατανομή του λόγου C/N (σχήμα 7.27) παρουσιάζει επίσης ομοιότητες με την αντίστοιχη της οργανικής ουσίας, υποδηλώνοντας την ύπαρξη γόνιμων και μη γόνιμων εδαφών στον κάμπο των Μεσογείων λόγω της εντατικής καλλιέργειας.

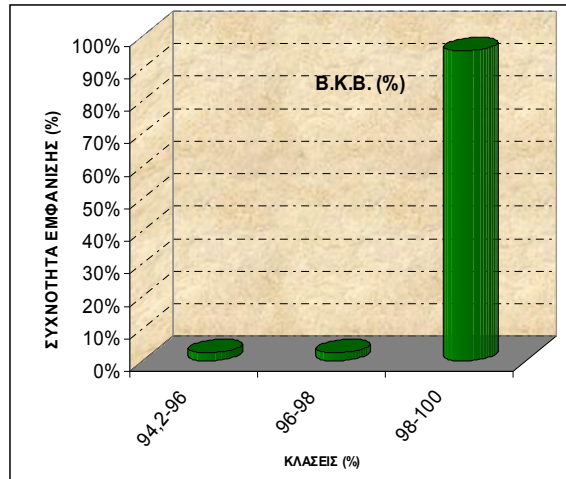
## 7.8 Βαθμός Κορεσμού με Βάσεις (BKB)

Ο Βαθμός Κορεσμού με Βάσεις είναι ο λόγος του αθροίσματος των ανταλλάξιμων κατιόντων (K, Ca, Mg και Na) προς την ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων, εκφρασμένο σε ποσοστό επί τοις εκατό, δηλαδή

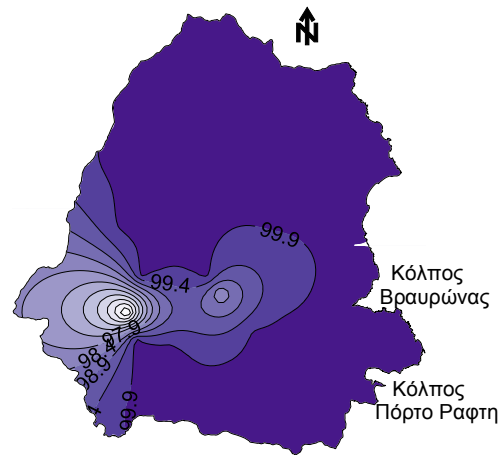
$$BKB = \frac{K + Ca + Mg + Na}{IAK} \cdot 100$$

Σε βασικά pH, ο βαθμός κορεσμού με βάσεις ξεπερνά το 80% (Brady and Weil, 1996). Υψηλές τιμές του βαθμού κορεσμού με βάσεις παρατηρούνται επίσης σε ξηροθερμικές συνθήκες περιβάλλοντος (Μουστάκας, 1997).

Οι τιμές της περιοχής έρευνας παρουσιάζουν μικρό εύρος διακύμανσης τιμών, από 94,2% έως 100% με μέσο όρο 99,8%. Η κατανομή παρουσιάζει αρνητική ασυμμετρία (σχήμα 7.28) ενώ η κλάση με τη μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης είναι μεταξύ 98 -100%.



**Σχήμα 7.28:** Ιστόγραμμα συχνοτήτων του βαθμού κορεσμού με βάσεις BKB (%)



**Σχήμα 7.29:** Χωρική κατανομή του βαθμού κορεσμού με βάσεις BKB (%)

Στην περιοχή έρευνας, όπου επικρατούν ξηροθερμικές συνθήκες κλίματος και εδάφη με αλκαλικά pH, οι τιμές BKB είναι αρκετά υψηλές, επιβεβαιώνοντας τις βιβλιογραφικές αναφορές (Brady and Weil 1996, Μουστάκας 1997). Η πλειοψηφία των τιμών (95%) ανήκουν στην κλάση μεταξύ 98 και 100% (διάγραμμα συχνοτήτων ποσοτικής κατηγοριοποίησης των τιμών BKB σε κλάσεις – σχήμα 7.28).

Οι χαμηλότερες τιμές παρατηρούνται στα εδαφικά δείγματα που προέρχονται από τους πρόποδες του Υμηττού, καθώς και στο κεντρικό τμήμα του καλλιεργούμενου κάμπου της λεκάνης του Ερασίνου, μεταξύ Κορωπίου και Βραυρώνας (σχήμα 7.29).



## 7.9 Βαρέα μέταλλα εδαφών

Η περιεκτικότητα των εδαφών σε βαρέα μέταλλα, είναι εξίσου σημαντική με τα υπόγεια νερά, διότι απορροφούνται από τα φυτά και εισέρχονται στην τροφική αλυσίδα, προκαλώντας μέσω της βιοσυσσωρευσης μείζον πρόβλημα στη διατροφή του ανθρώπου και των ζώων.

Ενδεικτικά, στον πίνακα 7.3 φαίνεται η κατανομή ορισμένων βαρέων μετάλλων στα πιο συνήθη καλλιεργούμενα βρώσιμα φυτά. Το Cd κι ο Pb συσσωρεύονται σε εδάδιμα μέρη του φυτού ενώ ο Cu, το Ni και ο Zn στα φύλλα.

**Πίνακας 7.3** Συσσωρευση βαρέων μετάλλων στα φυτά (Alloway, 1995)

Μέταλλο	υψηλή συσσωρευση	χαμηλή συσσωρευση
<b>Cd</b>	μαρούλι, σπανάκι, λάχανο, σέλινο	πατάτες, αραβόσιτος, φασόλια, αρακάς
<b>Pb</b>	σέλινο, λάχανο	κριθάρι, πατάτα, αραβόσιτος
<b>Cu</b>	τεύτλα, κριθάρι	λάχανο, κρεμμύδι, πράσο
<b>Ni</b>	τεύτλα, ρέβα	αραβόσιτος, πράσο, κρεμμύδι, κριθάρι
<b>Zn</b>	τεύτλα, σπανάκι, παντζάρι	πατάτα, πράσο, τομάτα, κρεμμύδι

Εκτός της ανθρώπινης υγείας, τα βαρέα μέταλλα επηρεάζουν και τα ίδια τα φυτά, έχοντας επιπτώσεις στην παραγωγή. Τα περισσότερα φυτά παρουσιάζουν τροφοπενία στην έλλειψη κάποιων σημαντικών γι αυτά στοιχείων και τοξικότητα στην αντίθετη περίπτωση, υπερβολικής λήψης αυτών.

Για τα φυτά τα απαραίτητα στοιχεία είναι τα πρωτεύουσας σημασίας C, H, O, N, P, K και S και δευτερευόντως τα Ca, Cl, F, Mg, Na, Co, Cu, Fe, Mn, Ni, Zn, εκ των οποίων τα 6 τελευταία ανήκουν στην ομάδα των βαρέων μετάλλων. Η φυτο-τοξικότητα που πολλές φορές καταλήγει σε θάνατο του φυτού μπορεί να έχει διάφορες επιπτώσεις στα φυτά όπως (Alloway, 1995):

- ♦ Σημαντικές αλλαγές της κυτταρικής μεμβράνης (Cd, Cu, Br, I, F, Pb)
- ♦ Αντικατάσταση των απαραίτητων κατιόντων (Sr)
- ♦ Κατάληψη σημαντικών για κάποια στοιχεία θέσεων από άλλα (F, Br)

Η τροφοπενία, μπορεί επίσης να οδηγήσει σε θάνατο του φυτού, πιο μακροπρόθεσμα και παρουσιάζει πολλά κοινά συμπτώματα με την τοξικότητα, όπως οι χλωρώσεις στα φύλλα. Η ευαισθησία των καλλιεργήσιμων φυτών στην έλλειψη ιχνοστοιχείων φαίνεται στον πίνακα 7.4.

Η ύπαρξη των βαρέων μετάλλων στα εδάφη μπορεί να είναι είτε γεωγενούς (πίνακας 1.3) είτε ανθρωπογενούς προέλευσης. Στην τελευταία περίπτωση τα βαρέα μέταλλα μπορεί να προέρχονται από (Siegel, 2002):

- γεωργική χρήση και εφαρμογή αγροχημικών (Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Zn)
- μεταλλουργικές βιομηχανίες (Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Zn)
- ηλεκτρονικά (Cu)
- παραγωγή χρωμάτων (Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Zn, Co)
- παραγωγή πλαστικών (Cd, Pb, Zn)
- απόθεση αποβλήτων (Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Zn, Co, Fe)
- ατμοσφαιρική απόθεση (Cd, Pb)

Πίνακας 7.4: Ευαισθησία των καλλιεργήσιμων φυτών στην έλλειψη ιχνοστοιχείων (Alloway, 1995)

	Zn	Fe	Mn	Cu
<b>Κριθάρι</b>	μέτρια	υψηλή	μέτρια	μέτρια
<b>Αραβόσιτος</b>	υψηλή	μέτρια	χαμηλή	μέτρια
<b>Πατάτα</b>	μέτρια	-	μέτρια	χαμηλή
<b>Ρύζι</b>	μέτρια	υψηλή	μέτρια	υψηλή
<b>Σόγια</b>	μέτρια	υψηλή	υψηλή	χαμηλή
<b>Ζαχρότευτλα</b>	μέτρια	υψηλή	υψηλή	μέτρια
<b>Σιτάρι</b>	χαμηλή	χαμηλή	υψηλή	υψηλή

Στην απόθεση αποβλήτων περιλαμβάνονται, εκτός των άλλων, και τα κτηνοτροφικά απόβλητα, χοίρων, βοοειδών και πουλερικών. Η σύστασή τους σε βαρέα μέταλλα είναι σημαντική. Τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις παρουσιάζει ο σίδηρος (Fe) με τιμές έως και 10.000 φορές μεγαλύτερες των άλλων βαρέων μετάλλων. Σημαντικές συγκεντρώσεις παρουσιάζει και το μαγγάνιο (Mn) ενώ τις χαμηλότερες συγκεντρώσεις εμφανίζουν τα μέταλλα Cd, Co, Pb, Cr και Ni (Γεωργακάκης κ.α. ,1994).

Γενικά, σε μη ρυπασμένα εδάφη, η περιεκτικότητα των πιθανά τοξικών βαρέων μετάλλων είναι σχετικά χαμηλή και προέρχεται από πετρώματα όπως, οι βασάλτες, σερπεντινίτες κλπ. που περιέχουν υψηλές συγκεντρώσεις ενός ή περισσοτέρων ορυκτών (π.χ. ολιβίνες) (Siegel, 2002).

Τα βαρέα μέταλλα απαντώνται με τις εξής κύριες μορφές στο έδαφος (Tessier et al. 1979, Horowitz 1985, Campbell et al. 1988, Shuman 1991, Kennedy et al. 2007):

- **ελεύθερα στο εδαφικό διάλυμα**, που περιλαμβάνουν υδατοδιαλυτές μορφές μετάλλων σε ιοντική μορφή. Οι υδατοδιαλυτές μορφές παίζουν σημαντικό ρόλο στην θρέψη των φυτών αλλά και στη μεταφορά ρύπων σε αυτά. Η αποσύνθεση του χούμου και η μείωση του pH ευνοούν την κινητοποίηση των βαρέων μετάλλων στο εδαφικό διάλυμα.
- **ανταλλάξιμα και προσροφημένα στην επιφάνεια των εδαφικών κολλοειδών**, που περιλαμβάνουν τα συνδεδεμένα με απλή ιονταλλαγή στην επιφάνεια λεπτόκοκκων ή κολλοειδών υλικών με μεγάλη ειδική επιφάνεια (αργιλικά ορυκτά, οργανική ύλη και οξείδια σιδήρου και μαγγανίου), και τα συνδεδεμένα με χημική προσρόφηση, σε ειδικές θέσεις χαμηλής προσροφητικής ενέργειας διαφόρων στερεών συστατικών. Γενικά, το φαινόμενο της προσρόφησης εξαρτάται σημαντικά από το pH, με τρόπο ώστε μείωση του pH να οδηγεί σε εκρόφιση των προσροφημένων κατιόντων.
- **συνδεδεμένα με ανθρακικά άλατα**, τα κυριότερα ανθρακικά ορυκτά είναι οι μορφές του ανθρακικού ασβεστίου ασβεστίτης και αραγωνίτης καθώς και ο δολομίτης ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ). Τα βαρέα μέταλλα ενώνονται με ανθρακικά ιόντα είτε με τη διαδικασία της χημικής καθίζησης προς σχηματισμό αδιάλυτων ανθρακικών αλάτων είτε υποκαθιστώντας το ασβέστιο ή το μαγνήσιο στην επιφάνεια ή στο κρυσταλλικό πλέγμα των ανθρακικών ορυκτών.
- **συνδεδεμένα με την οργανική ουσία**, όπου οργανική ουσία είναι ένα σύνθετο μίγμα φυτικών και ζωικών υπολειμμάτων σε διάφορα στάδια.
- **συνδεδεμένα με οξείδια Fe-Mn**, η προέλευση των οξειδίων σιδήρου και μαγγανίου στα ιζήματα αποδίδεται σε ανθεκτικά πρωτογενή ορυκτά όπως ο μαγνητίτης και σε σωματίδια και επιστρώσεις οξειδίων σιδήρου και μαγγανίου που σχηματίστηκαν κατά την αποσάθρωση.

- **ενωμένα με το πυρίτιο στο κρυσταλλικό πλέγμα των πρωτογενών και δευτερογενών ορυκτών**, η σύνδεση αυτή συνίσταται κυρίως στην υποκατάσταση από βαρέα μέταλλα ατόμων του κρυσταλλικού πλέγματος είτε πρωτογενών ορυκτών που επιβίωσαν κατά την αποσάθρωση, είτε δευτερογενών πυριτικών που σχηματίστηκαν κατά την αποσάθρωση και τη διαγένεση. Τα βαρέα μέταλλα που απαντώνται σε αυτήν την φάση έχουν γεωγενή προέλευση (Campbell et al., 1988).

Οι δύο πρώτες μορφές είναι ευκίνητες και επομένως διαθέσιμες για τα φυτά, ενώ οι τελευταίες είναι ακινητοποιημένες μορφές (Adriano, 1986). Η διαθεσιμότητα των μικροθρεπτικών στοιχείων και ιχνοστοιχείων στο έδαφος εξαρτάται κυρίως από το είδος των ορυκτών, το pH, τις οξειδοαναγωγικές συνθήκες, την περιεκτικότητα των εδαφών σε άργιλο και οργανική ουσία (Παναγιωτόπουλος, 2008).

Γενικά, η ικανότητα του εδάφους να συγκρατεί τα προαναφερόμενα στοιχεία, αυξάνεται με την αύξηση του pH και μεγιστοποιείται σε ουδέτερες και αλκαλικές τιμές pH. Η οργανική ουσία μπορεί να συγκρατήσει ισχυρά τα στοιχεία αυτά, επειδή σχηματίζει σταθερές υδατοδιαλυτές είτε δυσδιάλυτες ενώσεις (χηλικές ενώσεις), με αποτέλεσμα τη μείωση της διαθεσιμότητάς τους για τα φυτά (Adriano, 1986).

Ο προσδιορισμός των συγκεντρώσεων των βαρέων μετάλλων στα εδάφη έγιναν, όπως και στα ύδατα, με φασματόμετρο ατομικής απορρόφησης AAS τύπου GBS 908. Κατά την εφαρμογή της μεθόδου επιλέχθηκε η μέτρηση κάθε δείγματος στα 10sec με 3 επαναλήψεις (συνολικά 30 sec). Το εύρος λειτουργίας του οργάνου κι η ευαισθησία του, ανάλογα με το μετρούμενο στοιχείο, φαίνονται στον πίνακα 7.5.

**Πίνακας 7.5:** Εύρος λειτουργίας κι ευαισθησία φασματόμετρου ατομικής απορρόφησης τύπου GBS 908

Στοιχείο	Ιδανικό εύρος λειτουργίας οργάνου (µg/ml)	Ευαισθησία (µg/ml)	Στοιχείο	Ιδανικό εύρος λειτουργίας οργάνου (µg/ml)	Ευαισθησία (µg/ml)
<b>Cd</b>	0,2-1,8	0,009	<b>Mn</b>	1-3,6	0,02
<b>Co</b>	2,5-9	0,05	<b>Ni</b>	7-27	0,15
<b>Cr</b>	2-15	0,05	<b>Pb</b>	1,8-8	0,04
<b>Cu</b>	1-5	0,025	<b>Zn</b>	2,5-20	0,06
	2,5-10	0,05		7-50	0,16
	7,5-30	0,16		0,4-1,5	0,008
<b>Fe</b>	2-9	0,05		3.000-12.000	0,5
	20-80	0,45			

Στους πίνακες 7.6- 7.10 φαίνονται τα αποτελέσματα των εργαστηριακών αναλύσεων των εξής φάσεων εκχυλίσεων των 42 εδαφικών δειγμάτων που συλλέχθηκαν από την περιοχή έρευνας:

Πιν.7.6: Ολικές συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων.

Πιν. 7.7: **α-φάση**, υδατοδιαλυτές μορφές των βαρέων μετάλλων.

Πιν. 7.8: **β-φάση**, ανταλλάξιμες μορφές των βαρέων μετάλλων.

Πιν. 7.9: **γ-φάση**, δεσμευμένες μορφές των βαρέων μετάλλων στα οξείδια του σιδήρου και μαγγανίου και στις οργανικές κι ανθρακικές ενώσεις.

Πιν. 7.10: **δ-φάση**, συνδεδεμένες μορφές των βαρέων μετάλλων στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών. Οι τιμές αυτές προέκυψαν αφαιρώντας από τις ολικές συγκεντρώσεις (πιν. 7.6) το άθροισμα των συγκεντρώσεων υδατοδιαλυτών, ανταλλάξιμων και δεσμευμένων μορφών.



**Πίνακας 7.6** Ολικές συγκεντρώσεις (ppm) βαρέων μετάλλων

No	Fe	Mn	Cu	Zn	Cd	Pb	Ni	Co	Cr
1	10.531,75	212,55	15,00	48,35	1,35	26,45	79,05	2,90	102,95
2	1.554,50	281,05	15,50	295,7	5,92	81,8	25,10	0,75	7,45
3	6.870,75	167,70	13,10	25,45	1,55	12,40	37,10	3,38	49,05
4	2.098,75	78,15	12,90	18,95	1,55	10,20	11,60	1,78	11,45
5	9.541,25	307,50	19,60	25,80	1,35	9,70	18,95	1,28	11,8
6	8.905,25	230,20	16,80	39,95	2,20	29,50	2,05	0,38	5,4
7	6.787,50	282,80	22,60	42,15	1,88	25,30	0,45	2,03	30,1
8	7.512,25	326,70	48,05	102,10	2,40	28,10	59,25	1,88	66,65
9	6.852,00	316,40	13,55	32,20	1,65	24,85	0,10	0,03	7,6
10	9.177,00	396,60	12,65	6,65	1,38	21,80	11,45	5,05	30,1
11	2.496,25	291,15	17,10	19,45	1,45	17,95	2,20	2,85	2,75
12	3.799,25	297,85	22,00	14,23	2,20	14,20	1,85	1,38	3,7
13	8.215,50	120,85	19,40	5,85	1,85	54,75	2,85	0,08	50,85
14	2.564,00	215,35	12,90	6,25	1,63	6,60	6,05	0,03	12,15
15	9.663,00	399,2	403,15	23,10	1,83	21,85	1,05	0,03	5,1
16	12.085,00	388,55	16,85	17,65	2,05	23,50	9,60	3,73	50,9
17	14.211,25	375,40	22,35	34,55	2,45	25,50	2,85	4,85	28,6
18	9.784,00	241,45	12,30	17,50	2,08	22,10	2,10	0,13	26,2
19	12.977,25	156,70	25,35	77,90	1,30	17,45	0,10	3,83	20,55
20	6.795,75	300,50	26,05	9,60	2,70	48,75	9,90	1,20	30,1
21	4.925,25	105,05	12,05	15,55	1,55	18,15	2,15	2,48	19,55
22	7.021,50	240,25	14,65	31,55	1,48	24,75	22,70	4,53	13,2
23	8.614,75	242,70	10,35	16,45	2,20	20,25	8,90	1,10	37,45
24	8.030,00	265,70	11,70	17,35	1,55	33,90	0,40	5,75	32,8
25	6.581,00	230,40	17,50	39,00	2,05	62,50	17,30	0,58	12,6
26	3.045,25	269,05	18,05	36,00	1,35	20,60	3,50	0,93	7,1
27	6.055,00	158,85	16,45	3,05	1,60	55,50	7,75	3,05	40,85
28	16.420,50	194,45	18,00	32,10	2,25	15,95	2,00	6,00	11,25
29	5.266,25	209,70	11,80	4,10	2,40	13,65	24,20	3,28	11,5
30	1.236,25	112,35	11,20	3,20	1,60	10,85	7,10	1,15	29,95
31	2.071,00	333,80	16,65	96,60	1,45	13,05	5,40	2,25	5,85
32	10.139,75	186,85	10,90	54,50	1,75	23,45	4,45	0,25	19,5
33	7.688,50	106,35	12,60	26,05	1,25	12,85	20,30	2,80	33,4
34	9.045,50	241,70	14,70	16,15	1,65	18,65	12,05	2,70	8,05
35	6.863,50	499,30	15,90	13,30	2,40	28,20	36,30	8,08	48,1
36	3.770,25	152,00	12,80	213,50	3,45	28,65	0,60	3,35	14,3
37	11.634,00	459,10	18,70	14,25	1,55	19,80	30,95	6,08	54,85
38	6.362,25	287,55	60,35	1,95	2,40	14,20	11,60	2,63	32,55
39	6.502,75	226,60	12,25	5,55	2,20	30,75	0,10	0,03	2,55
40	7.590,00	211,20	15,05	6,40	1,35	29,90	2,55	0,30	17,75
41	10.182,00	185,00	11,80	50,40	2,23	17,90	0,05	1,23	15,35
42	12.672,25	419,15	17,25	25,95	1,70	15,20	13,25	2,65	52,8
<b>aver</b>	<b>7479,52</b>	<b>255,33</b>	<b>26,85</b>	<b>37,77</b>	<b>1,96</b>	<b>25,03</b>	<b>12,32</b>	<b>2,35</b>	<b>25,59</b>
<b>min</b>	<b>1236,25</b>	<b>78,15</b>	<b>10,35</b>	<b>1,95</b>	<b>1,25</b>	<b>6,60</b>	<b>0,05</b>	<b>0,03</b>	<b>2,55</b>
<b>max</b>	<b>16420,50</b>	<b>499,30</b>	<b>403,15</b>	<b>295,7</b>	<b>5,92</b>	<b>81,8</b>	<b>79,05</b>	<b>8,08</b>	<b>102,95</b>
<b>s.d.</b>	<b>3545,91</b>	<b>99,02</b>	<b>60,19</b>	<b>54,94</b>	<b>0,78</b>	<b>15,25</b>	<b>16,45</b>	<b>1,97</b>	<b>20,93</b>

Πίνακας 7.7: Συγκεντρώσεις υδατοδιαλυτών μορφών βαρέων μετάλλων εδαφών (ppm)

No	Fe	Mn	Cu	Zn	Cd	Pb	Ni	Co	Cr
1	3,36	0,09	0,12	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
2	5,15	1,99	0,42	0,25	0,05	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
3	2,62	0,02	0,24	<0,001	0,04	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
4	3,89	1,48	0,11	<0,001	0,01	<0,001	<0,001	<0,001	0,27
5	0,85	0,01	0,13	<0,001	0,01	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
6	5,25	0,03	0,14	0,06	0,03	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
7	1,11	0,11	0,17	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
8	0,75	0,00	0,62	<0,001	0,01	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
9	1,50	0,64	0,19	<0,001	0,02	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
10	3,49	0,17	0,19	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
11	2,68	0,02	0,29	<0,001	0,02	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
12	2,63	0,20	0,19	<0,001	0,01	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
13	0,93	0,05	0,24	0,02	0,00	<0,001	<0,001	<0,001	0,37
14	1,10	0,31	0,21	0,14	0,02	<0,001	<0,001	<0,001	0,10
15	2,08	0,46	1,37	<0,001	0,01	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
16	1,89	0,09	0,17	<0,001	0,03	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
17	2,37	0,24	0,15	<0,001	<0,001	0,03	<0,001	<0,001	<0,001
18	2,58	0,69	0,15	<0,001	0,01	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
19	3,12	0,43	0,21	0,19	0,02	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
20	2,76	0,01	0,39	<0,001	0,13	<0,001	<0,001	<0,001	0,10
21	1,31	0,01	0,21	<0,001	0,01	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
22	3,60	0,25	0,14	<0,001	0,04	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
23	3,95	0,09	0,17	<0,001	0,03	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
24	4,70	0,09	0,16	<0,001	0,02	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
25	2,13	0,06	0,52	<0,001	0,02	0,01	<0,001	<0,001	<0,001
26	2,83	0,02	0,10	<0,001	0,01	0,23	<0,001	<0,001	0,03
27	2,73	0,01	0,23	0,05	0,02	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
28	0,78	0,53	0,12	0,00	0,02	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
29	3,92	0,05	0,14	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
30	4,56	0,21	0,13	<0,001	0,01	0,08	<0,001	<0,001	0,57
31	3,29	0,10	0,15	<0,001	0,03	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
32	3,93	0,34	0,20	<0,001	0,03	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
33	1,44	0,03	0,14	<0,001	0,04	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
34	1,07	0,08	0,43	0,37	0,02	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
35	2,47	2,27	0,55	0,56	0,02	<0,001	<0,001	<0,001	0,24
36	4,83	0,85	0,19	<0,001	0,02	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
37	2,01	1,13	0,16	<0,001	0,01	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
38	1,51	0,24	0,83	<0,001	0,00	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
39	3,55	0,01	0,19	<0,001	0,02	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
40	1,51	0,02	0,14	<0,001	0,02	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
41	0,94	0,11	0,12	<0,001	0,03	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
42	1,63	0,02	0,22	<0,001	0,01	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
<b>aver</b>	<b>2,59</b>	<b>0,32</b>	<b>0,26</b>	<b>0,04</b>	<b>0,02</b>	<b>0,01</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,04</b>
<b>min</b>	<b>0,75</b>	<b>0,00</b>	<b>0,10</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
<b>max</b>	<b>5,25</b>	<b>2,27</b>	<b>1,37</b>	<b>0,56</b>	<b>0,13</b>	<b>0,23</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,57</b>
<b>s.d.</b>	<b>1,30</b>	<b>0,52</b>	<b>0,23</b>	<b>0,11</b>	<b>0,02</b>	<b>0,04</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,12</b>

Πίνακας 7.8: Συγκεντρώσεις ανταλλάξιμων μορφών βαρέων μετάλλων εδαφών (ppm)

No	Fe	Mn	Cu	Zn	Cd	Pb	Ni	Co	Cr
1	5,63	1,16	1,10	<0,001	0,43	<0,001	<0,001	<0,001	0,27
2	8,34	3,22	2,50	1,60	0,70	0,11	<0,001	<0,001	0,81
3	3,45	0,11	1,28	0,36	0,52	<0,001	<0,001	<0,001	0,18
4	6,45	2,51	1,12	<0,001	0,59	<0,001	<0,001	<0,001	0,27
5	1,79	0,04	1,60	0,45	0,55	<0,001	<0,001	<0,001	0,81
6	8,14	0,85	1,68	0,30	0,54	<0,001	<0,001	<0,001	0,27
7	3,24	1,15	1,63	0,36	0,61	<0,001	<0,001	<0,001	0,18
8	2,04	0,13	3,05	0,21	0,54	<0,001	<0,001	<0,001	0,18
9	3,82	1,11	1,72	<0,001	0,60	<0,001	<0,001	<0,001	0,18
10	5,27	1,05	1,24	<0,001	0,53	<0,001	<0,001	<0,001	0,36
11	4,38	1,10	1,35	3,87	0,59	<0,001	<0,001	<0,001	0,72
12	4,63	1,36	3,39	<0,001	0,59	<0,001	<0,001	<0,001	0,72
13	3,33	2,06	1,58	0,29	0,51	<0,001	<0,001	<0,001	0,81
14	3,42	1,24	1,57	0,63	0,57	<0,001	<0,001	<0,001	0,18
15	6,72	1,73	6,36	<0,001	0,53	<0,001	<0,001	<0,001	0,18
16	3,12	1,01	2,17	<0,001	0,65	<0,001	<0,001	<0,001	0,18
17	5,72	2,11	1,62	<0,001	0,49	0,42	<0,001	<0,001	0,36
18	4,28	3,01	1,42	0,14	0,51	<0,001	<0,001	<0,001	0,18
19	4,09	2,74	0,96	0,96	0,54	<0,001	<0,001	<0,001	0,81
20	4,26	0,55	2,15	<0,001	0,63	<0,001	<0,001	<0,001	0,54
21	5,02	0,64	1,27	<0,001	0,45	<0,001	<0,001	<0,001	0,99
22	4,82	1,87	1,19	<0,001	0,50	0,13	<0,001	<0,001	0,45
23	5,03	1,27	1,71	<0,001	0,62	0,03	<0,001	<0,001	0,63
24	6,02	2,35	1,66	<0,001	0,45	0,28	<0,001	<0,001	0,18
25	5,32	2,74	2,51	<0,001	0,68	0,41	<0,001	<0,001	0,54
26	5,17	2,33	1,92	<0,001	0,57	1,07	<0,001	<0,001	0,63
27	5,04	0,86	1,59	0,46	0,47	<0,001	<0,001	<0,001	0,27
28	2,32	1,81	1,60	<0,001	0,53	<0,001	<0,001	<0,001	0,18
29	6,32	2,01	1,92	<0,001	0,70	<0,001	<0,001	<0,001	0,18
30	6,33	2,24	1,69	0,38	0,61	0,50	<0,001	<0,001	0,63
31	5,81	2,03	1,94	<0,001	0,49	<0,001	<0,001	<0,001	0,18
32	5,62	2,18	1,46	<0,001	0,59	<0,001	<0,001	<0,001	0,81
33	3,01	0,93	1,50	<0,001	0,50	<0,001	<0,001	<0,001	0,81
34	3,03	1,21	1,98	1,98	0,48	<0,001	<0,001	<0,001	0,81
35	3,43	3,02	3,78	3,78	0,48	<0,001	<0,001	<0,001	0,72
36	6,02	1,32	1,29	<0,001	0,52	<0,001	<0,001	<0,001	0,81
37	4,09	6,25	1,59	<0,001	0,59	<0,001	<0,001	<0,001	0,18
38	3,15	2,09	4,01	<0,001	0,59	<0,001	<0,001	<0,001	0,18
39	5,02	1,01	1,29	<0,001	0,52	<0,001	<0,001	<0,001	0,18
40	3,24	1,25	1,69	<0,001	0,55	<0,001	<0,001	<0,001	0,72
41	3,43	1,24	2,66	14,07	0,81	0,45	<0,001	<0,001	1,35
42	2,72	1,35	1,24	<0,001	0,22	<0,001	<0,001	<0,001	1,08
<b>aver</b>	<b>4,57</b>	<b>1,67</b>	<b>1,93</b>	<b>0,71</b>	<b>0,55</b>	<b>0,08</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,49</b>
<b>min</b>	<b>1,79</b>	<b>0,04</b>	<b>0,96</b>	<b>0,00</b>	<b>0,22</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,18</b>
<b>max</b>	<b>8,34</b>	<b>6,25</b>	<b>6,36</b>	<b>14,07</b>	<b>0,81</b>	<b>1,07</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>1,35</b>
<b>s.d.</b>	<b>1,53</b>	<b>1,08</b>	<b>0,99</b>	<b>2,29</b>	<b>0,09</b>	<b>0,21</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,32</b>

**Πίνακας 7.9:** Συγκεντρώσεις δεσμευμένων μορφών βαρέων μετάλλων εδαφών στα οργανικά και ανθρακικά τεμαχίδια του εδάφους και τα οξείδια Fe & Mn (ppm)

No	Fe	Mn	Cu	Zn	Cd	Pb	Ni	Co	Cr
1	78,05	132,10	5,04	1,67	0,63	23,54	1,68	<0,001	2,35
2	86,00	124,94	11,55	213,4	3,81	65,2	11,43	<0,001	2,13
3	11,00	99,75	10,34	7,97	0,57	9,99	0,45	<0,001	1,15
4	22,50	62,45	2,07	2,51	0,61	6,71	<0,001	<0,001	1,89
5	17,59	27,48	3,10	3,02	0,61	6,80	<0,001	<0,001	2,40
6	27,79	214,66	5,78	19,47	0,72	27,66	0,92	<0,001	1,06
7	36,54	92,59	6,58	12,47	0,65	15,62	<0,001	<0,001	2,60
8	35,21	154,80	38,60	76,73	0,69	22,64	0,55	<0,001	3,16
9	31,03	147,66	8,24	10,52	0,70	17,83	<0,001	<0,001	4,04
10	34,78	376,30	5,05	3,55	0,66	12,61	2,94	2,91	1,51
11	15,46	164,79	12,68	5,52	0,71	13,41	1,08	<0,001	0,94
12	29,36	127,98	4,46	3,28	0,68	8,98	0,88	<0,001	1,50
13	68,39	58,58	13,44	0,78	0,68	48,58	<0,001	<0,001	3,03
14	8,20	80,81	2,94	0,63	0,59	6,07	<0,001	<0,001	1,40
15	24,89	203,55	377,81	17,96	0,72	20,81	0,49	<0,001	0,86
16	17,06	47,80	2,88	2,66	0,78	13,64	<0,001	<0,001	2,88
17	17,71	223,54	6,93	8,77	0,72	21,02	0,37	1,22	3,11
18	16,49	139,97	4,91	10,58	0,77	17,62	<0,001	<0,001	5,07
19	29,15	85,10	4,64	3,90	0,61	15,68	<0,001	<0,001	4,39
20	37,04	217,92	19,12	8,90	0,69	40,85	0,89	0,28	2,86
21	22,32	99,00	4,46	8,34	0,66	14,54	0,02	<0,001	2,33
22	24,87	222,18	7,07	0,73	0,66	20,53	10,31	2,85	3,03
23	41,13	124,90	7,70	12,65	0,68	19,05	6,66	<0,001	2,84
24	34,43	127,76	7,23	9,35	0,56	10,97	<0,001	<0,001,9	4,26
25	87,58	174,05	9,58	14,36	0,73	46,03	10,75	<0,001	2,44
26	15,11	160,68	5,20	0,74	0,66	17,15	0,72	<0,001	0,99
27	10,49	79,17	8,42	0,69	0,68	34,50	1,04	<0,001	3,61
28	20,51	167,75	2,39	3,09	0,73	7,19	<0,001	0,00	3,03
29	16,16	194,34	8,25	0,97	0,83	8,33	13,44	3,20	3,53
30	32,66	64,51	2,04	1,04	0,78	6,76	<0,001	<0,001	5,11
31	16,98	170,87	4,33	3,25	0,68	7,32	3,43	1,40	2,03
32	25,61	141,29	7,07	8,78	0,61	14,50	2,06	<0,001	4,08
33	28,67	92,58	5,23	13,81	0,64	9,24	6,66	<0,001	5,57
34	16,61	222,78	10,71	7,96	0,65	16,70	5,96	2,11	3,76
35	78,81	465,30	10,33	7,25	0,69	26,00	6,11	7,77	1,93
36	25,75	135,51	6,52	16,25	0,63	26,49	<0,001	<0,001	4,17
37	33,30	420,35	6,69	5,14	0,70	8,92	3,18	2,25	6,42
38	12,63	166,32	37,86	0,88	0,59	10,85	<0,001	1,15	3,99
39	46,46	121,70	6,28	2,57	0,75	20,42	<0,001	<0,001	1,32
40	26,63	105,96	7,24	5,02	0,66	27,41	<0,001	<0,001	6,32
41	36,79	50,14	4,13	20,99	0,88	9,23	<0,001	<0,001	3,84
42	28,04	94,37	4,52	6,04	0,68	10,44	2,23	<0,001	6,47
<b>aver</b>	<b>31,57</b>	<b>152,01</b>	<b>17,13</b>	<b>13,43</b>	<b>0,76</b>	<b>18,76</b>	<b>2,24</b>	<b>0,62</b>	<b>3,08</b>
<b>min</b>	<b>8,20</b>	<b>27,48</b>	<b>2,04</b>	<b>0,63</b>	<b>0,56</b>	<b>6,07</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,86</b>
<b>max</b>	<b>87,58</b>	<b>465,30</b>	<b>377,81</b>	<b>213,4</b>	<b>3,81</b>	<b>65,2</b>	<b>13,44</b>	<b>7,77</b>	<b>6,47</b>
<b>s.d.</b>	<b>20,12</b>	<b>92,17</b>	<b>57,51</b>	<b>33,84</b>	<b>0,49</b>	<b>12,7</b>	<b>3,60</b>	<b>1,45</b>	<b>1,53</b>

**Πίνακας 7.10:** Συγκεντρώσεις (ppm) δεσμευμένων μορφών βαρέων μετάλλων στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών

No	Fe	Mn	Cu	Zn	Cd	Pb	Ni	Co	Cr
1	10.444,71	79,20	8,74	46,69	0,29	2,91	77,37	2,90	100,34
2	1.455,02	150,90	1,03	80,51	1,36	16,49	13,67	0,75	4,51
3	6.853,68	67,83	1,24	17,13	0,42	2,41	36,65	3,38	47,72
4	2.065,92	11,71	9,61	16,44	0,34	3,50	11,60	1,78	9,02
5	9.521,02	279,97	14,77	22,34	0,18	2,90	18,95	1,28	8,59
6	8.864,06	14,66	9,20	20,13	0,91	1,84	1,13	0,38	4,07
7	6.746,61	188,96	14,22	29,32	0,62	9,69	0,45	2,03	27,32
8	7.474,26	171,77	5,77	25,16	1,16	5,46	58,70	1,88	63,31
9	6.815,65	166,98	3,40	21,68	0,33	7,02	0,10	0,03	3,38
10	9.133,46	19,08	6,17	3,10	0,19	9,19	8,51	2,14	28,23
11	2.473,73	125,25	2,78	10,06	0,12	4,54	1,12	2,85	1,09
12	3.762,63	168,31	13,95	10,95	0,91	5,22	0,97	1,38	1,48
13	8.142,85	60,17	4,14	4,76	0,66	6,17	2,85	0,08	46,63
14	2.551,28	133,00	8,18	4,85	0,44	0,53	6,05	0,03	10,48
15	9.629,30	193,46	17,61	5,15	0,56	1,04	0,56	0,03	4,06
16	12.062,93	339,65	11,63	14,99	0,59	9,87	9,60	3,73	47,84
17	14.185,45	149,51	13,65	25,78	1,24	4,03	2,48	3,63	25,13
18	9.760,65	97,78	5,82	6,79	0,78	4,48	2,10	0,13	20,95
19	12.940,89	68,43	19,53	72,85	0,13	1,77	0,10	3,83	15,35
20	6.751,69	82,02	4,39	0,70	1,25	7,90	9,01	0,92	26,59
21	4.896,60	5,40	6,10	7,21	0,43	3,62	2,13	2,48	16,23
22	6.988,22	15,94	6,26	30,82	0,28	4,10	12,40	1,67	9,72
23	8.564,64	116,44	0,76	3,81	0,88	1,17	2,24	1,10	33,99
24	7.984,85	135,51	2,66	8,00	0,52	22,65	0,40	4,85	28,36
25	6.485,97	53,55	4,90	24,64	0,62	16,06	6,55	0,58	9,62
26	3.022,14	106,02	10,83	35,26	0,12	2,16	2,78	0,93	5,45
27	6.036,73	78,81	6,21	1,85	0,43	21,00	6,72	3,05	36,97
28	16.396,89	24,36	13,89	29,01	0,97	8,76	2,00	6,00	8,04
29	5.239,85	13,30	1,49	3,13	0,87	5,33	10,76	0,08	7,79
30	1.192,70	45,39	7,34	1,78	0,20	3,50	7,10	1,15	23,63
31	2.044,91	160,80	10,23	93,35	0,25	5,73	1,97	0,86	3,64
32	10.104,59	43,04	2,18	45,72	0,51	8,95	2,39	0,25	14,61
33	7.655,38	12,81	5,73	12,24	0,07	3,61	13,64	2,80	27,02
34	9.024,79	17,63	1,58	5,85	0,51	1,96	6,09	0,59	3,48
35	6.778,79	28,72	1,24	1,71	1,21	2,20	30,19	0,31	45,21
36	3.733,65	14,31	4,81	197,25	2,27	2,16	0,60	3,35	9,32
37	11.594,61	31,36	10,26	9,11	0,26	10,88	27,77	3,83	48,25
38	6.344,97	118,89	17,65	1,07	1,22	3,35	11,60	1,47	28,38
39	6.447,72	103,88	4,49	2,98	0,92	10,33	0,10	0,03	1,05
40	7.558,62	103,98	5,98	1,38	0,12	2,50	2,55	0,30	10,71
41	10.140,83	133,51	4,88	15,35	0,50	8,23	0,05	1,23	10,16
42	12.639,87	323,41	11,27	19,91	0,79	4,76	11,02	2,65	45,25
<b>aver</b>	<b>7440,79</b>	<b>101,33</b>	<b>7,54</b>	<b>23,59</b>	<b>0,63</b>	<b>6,19</b>	<b>10,07</b>	<b>1,73</b>	<b>21,98</b>
<b>min</b>	<b>1192,70</b>	<b>5,40</b>	<b>0,76</b>	<b>0,70</b>	<b>0,07</b>	<b>0,53</b>	<b>0,05</b>	<b>0,03</b>	<b>1,05</b>
<b>max</b>	<b>16396,89</b>	<b>339,65</b>	<b>19,53</b>	<b>197,25</b>	<b>2,27</b>	<b>22,65</b>	<b>77,37</b>	<b>6,00</b>	<b>100,34</b>
<b>s.d.</b>	<b>3547,56</b>	<b>82,61</b>	<b>5,02</b>	<b>34,81</b>	<b>0,45</b>	<b>5,14</b>	<b>15,70</b>	<b>1,50</b>	<b>20,61</b>

Η επεξεργασία των δεδομένων, έγινε ξεχωριστά για κάθε φάση. Τα υδατοδιαλυτά είναι τα στοιχεία που διαλύονται με την παρουσία του νερού και μπορούν εύκολα να κινηθούν μέσα στο έδαφος και να καταλήξουν στον υδροφόρο ορίζοντα. Τα ανταλλάξιμα είναι αυτά που βρίσκονται στα εδαφικά κolloειδή και μπορούν να κινητοποιηθούν και να διαλυτοποιηθούν μόνο με την επίδραση κάποιου οξειδωτικού μέσου (Sahuquillo et al., 2003).

Από τις αναλυτικές μεθόδους, παρατηρούμε ότι, οι υψηλότερες συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων Fe, Zn, Ni, Co και Cr βρίσκονται δεσμευμένες στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών και ακολούθως στις δεσμευμένες στα οξείδια, στις ανθρακικές κι οργανικές ενώσεις μορφές. Αντίθετα, στα στοιχεία Mn, Cu, Cd και Pb οι υψηλότερες συγκεντρώσεις παρατηρούνται στις δεσμευμένες στα οξείδια, στις ανθρακικές κι οργανικές ενώσεις μορφές. Η ασυμμετρία είναι σε όλες τις παρατηρήσεις θετική, δείχνοντας την επικράτηση των χαμηλότερων συγκεντρώσεων συγκριτικά με τις υψηλότερες.

Ενδιαφέρον παρουσιάζει το εδαφικό δείγμα Νο 2 που βρίσκεται κοντά στο δέλτα του Ερασίνου, πλησίον πηγής, σε γόνιμο οργανικό έδαφος που δέχεται από τα ανάντη απόβλητα γειτονικής κτηνοτροφικής εγκατάστασης με αιγοπρόβατα. Σε αυτό το δείγμα ανιχνεύθηκαν όλα τα βαρέα μέταλλα των δεσμευμένων μορφών στα οξείδια Fe και Mn, τις οργανικές κι ανθρακικές ενώσεις σε πολύ υψηλές συγκεντρώσεις.

Για την επεξεργασία των αποτελεσμάτων των εκχυλίσεων με τις παραπάνω μεθόδους χρησιμοποιήθηκαν σαν εργαλεία η διαγραμματική απεικόνιση σε ιστόγραμμα συχνοτήτων (κατηγοριοποίηση των τιμών των συγκεντρώσεων των βαρέων μετάλλων σε κλάσεις) και η χωρική απεικόνιση των ισοπεριεκτικών καμπυλών των συγκεντρώσεων των βαρέων μετάλλων στο χώρο. Η χωρική κατανομή δημιουργήθηκε στο πρόγραμμα Surfer, χρησιμοποιώντας τη μέθοδο παρεμβολής Kriging, βασισμένη σε βαριογράμματα κυρίως εκθετικού μοντέλου.

### 7.9.1 Ολικός Σίδηρος ( $Fe_{tot}$ )

Ο σίδηρος είναι το αφθονότερο από τα μικροθρεπτικά στοιχεία στα εδάφη, στα οποία απαντάται με τη δισθενή και τρισθενή μορφή του. Η δισθενής μορφή μόνο είναι αφομοιώσιμη από τα φυτά. Οι διαλυτές ανόργανες μορφές με τις οποίες απαντάται στο έδαφος είναι:  $Fe^{3+}$ ,  $Fe(OH)_2^+$ ,  $FeOH^{2+}$ ,  $Fe^{2+}$ ,  $Fe(OH)_3^-$  και  $Fe(OH)_4^-$ . Η διαθεσιμότητα του σιδήρου αυξάνεται όταν επικρατούν αναγωγικές συνθήκες ή όξινες τιμές pH. Οι τιμές συγκέντρωσης ολικού σιδήρου στο εδαφικό διάλυμα σε συνήθη pH είναι 30-550  $\mu\text{g/l}$  (Kabata-Pendias and Pendias, 1992).

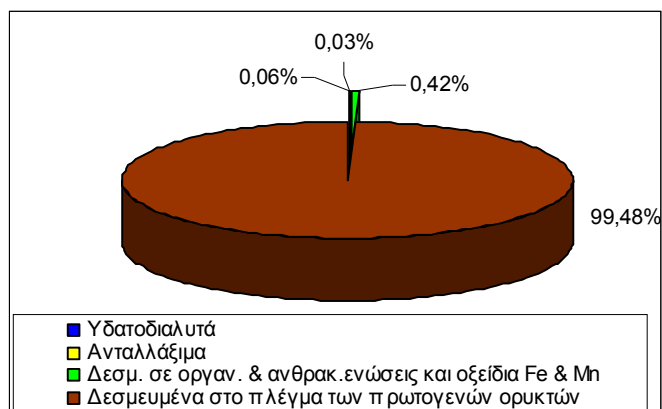
Η χημική συμπεριφορά του σιδήρου είναι παρόμοια με αυτή του κοβαλτίου και του νικελίου (Kabata-Pendias & Mukherjee, 2007). Η οργανική ουσία κι οι μικροοργανισμοί παίζουν σημαντικό ρόλο στη δημιουργία οξειδίων του σιδήρου. Κάποια βακτήρια συμμετέχουν στη συσσώρευση και τη δημιουργία του κύκλου του σιδήρου στο έδαφος (Magonigal et al., 2007).

Οι συγκεντρώσεις σιδήρου στα καλλιεργούμενα εδάφη συνδέονται με τη χρήση αγροχημικών, κυρίως εδαφοβελτιωτικών (προσθήκη οργανικής ουσίας) και όξινων λιπασμάτων (Zonn, 1982).

Σε έρευνες που πραγματοποιήθηκαν σε άλλες περιοχές της Ελλάδας οι ολικές συγκεντρώσεις σιδήρου που βρέθηκαν είναι 718ppm στην Κοζάνη (Stalikas et al., 1997) και 3,28% του ξηρού βάρους στην Θεσσαλονίκη (Chrysikou et al., 2008).

**Ολικές συγκεντρώσεις σιδήρου:** Οι ολικές συγκεντρώσεις σιδήρου παρουσιάζουν μεγάλο εύρος τιμών, από 1.236 έως 16.421ppm με μέσο όρο 7.480ppm. Η κλάση με την υψηλότερη συχνότητα (>30%) είναι από 7.000-10.000ppm (σχήμα 7.32-A). Από το διάγραμμα του σχήματος 7.30 παρατηρούμε πως το 99,5% των ολικών συγκεντρώσεων αποτελούν οι δεσμευμένες μορφές στο πλέγμα των ορυκτών, κάτι που επιβεβαιώνεται κι από την ομοιότητα στις χωρικές κατανομές των ολικών (σχήμα 7.31-A) και δεσμευμένων μορφών σιδήρου στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών (σχήμα 7.31-E). Προφανώς οι

αυξημένες ολικές συγκεντρώσεις σιδήρου στα καστανοκκόκινα εδάφη της περιοχής έρευνας υποδηλώνουν την ύπαρξη οξειδίων σιδήρου και μαγγανίου.



Σχήμα 7.30: Διάγραμμα ποσοστών συμμετοχής των διαφόρων φάσεων Fe επί των ολικών

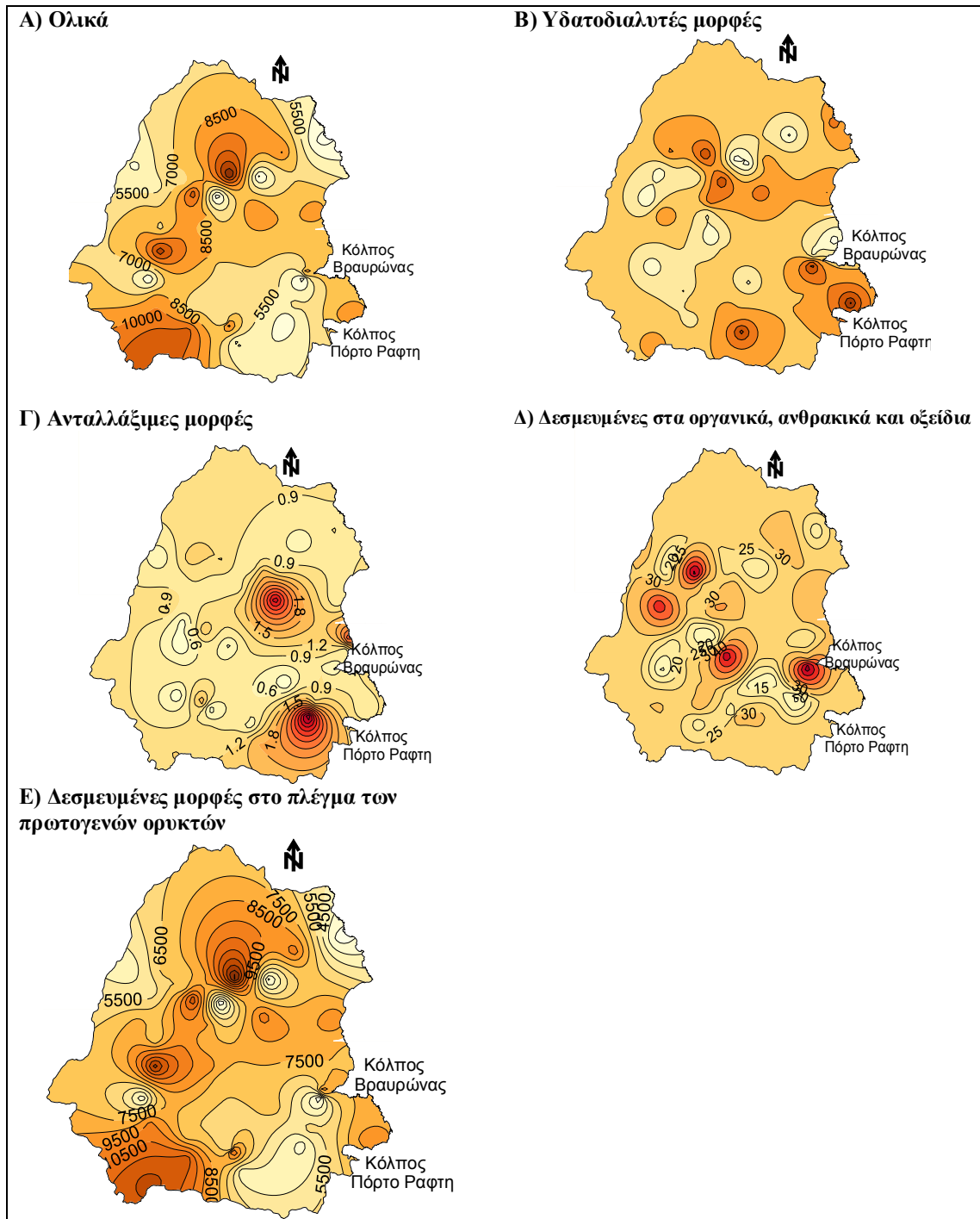
**Υδατοδιαλυτές μορφές σιδήρου:** Οι συγκεντρώσεις των υδατοδιαλυτών μορφών σιδήρου, βρίσκονται ψηλότερα από τις αντίστοιχες των υπόλοιπων εξετασθέντων βαρέων μετάλλων με μέσο όρο 2,59 ppm και μέγιστη τιμή 5,25 ppm. Η πλειοψηφία των τιμών παρατηρείται στην κλάση από 2 έως 3 ppm (σχήμα 7.32-B). Ο συντελεστής διακύμανσης έχει σχετικά υψηλή τιμή (1,30) αντικατοπτρίζοντας μεγάλη διασπορά των τιμών. Οι σχετικά υψηλές συγκεντρώσεις των υδατοδιαλυτών μορφών σιδήρου παρουσιάζουν μία δυνατότητα έκπλυσής τους, συνεπώς κατακόρυφη κινητικότητα με τελικό αποδέκτη τον υδροφόρο ορίζοντα, τον οποίον εμπλουτίζουν με αυτά. Αυτό βεβαίως θα συμβεί εάν δεν δεσμευθούν από οριζόντες με σημαντικά ποσοστά αργίλων, οπότε ακινητοποιούνται και δεν φθάνουν να επιβαρύνουν τον υδροφόρο ορίζοντα. Η χωρική κατανομή των υδατοδιαλυτών μορφών σιδήρου αποτυπώνεται στο σχήμα 7.31-B.

**Ανταλλάξιμες μορφές σιδήρου:** Οι τιμές του σιδήρου στις ανταλλάξιμες μορφές παρουσιάζουν μέσο όρο 4,57 ppm και μέγιστη τιμή 8,34 ppm. Η διασπορά των τιμών, δηλαδή η συγκέντρωση των τιμών γύρω από τον αριθμητικό μέσο είναι σχετικά υψηλή (s.d.=1,53). Η πλειοψηφία των τιμών παρατηρείται στις δύο πρώτες κλάσεις, από 1,5 έως 5,5 ppm (σχήμα 7.32-Γ). Οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις τοποθετούνται χωρικά στο βόρειο τμήμα του κάμπου Μεσογείων (σχήμα 7.31-Γ) καθώς και στα καλλιεργούμενα τμήματα του Μαρκοπούλου νότια του αεροδρομίου Ελ. Βενιζέλος.

**Δεσμευμένες μορφές σιδήρου στα οξείδια Fe & Mn και τις οργανικές κι ανθρακικές ενώσεις:** Η πλειοψηφία των τιμών του σιδήρου (50%), που βρίσκεται δεσμευμένος στα οξείδια Fe & Mn, στις οργανικές κι ανθρακικές ενώσεις, παρατηρείται στην κλάση από 20-40ppm κι ακολουθεί η κλάση από 8,2 έως 20ppm με 30% συχνότητα εμφάνισης (σχήμα 7.32-Δ). Οι τιμές έχουν μεγάλο εύρος, από 8,2 έως 87,58 ppm, όπως φαίνεται κι απ' τον υψηλό συντελεστή διακύμανσης (s.d.=20,12). Ο μέσος όρος των συγκεντρώσεων είναι 31,65 ppm. Οι μεγαλύτερες τιμές παρατηρήθηκαν στο Δέλτα του Ερασίνου στην καλλιεργούμενη έκταση των Σπάτων, καθώς και στα Γλυκά Νερά (σχήμα 7.31-Δ).

**Δεσμευμένες μορφές σιδήρου στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών:** Οι συγκεντρώσεις σιδήρου που είναι δεσμευμένες στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών παρουσιάζουν τις υψηλότερες τιμές σε σύγκριση με τις τιμές όλων των εξετασθέντων βαρέων μετάλλων. Ο μέσος όρος είναι 7.441 ppm και η υψηλότερη τιμή 16.397 ppm με κατανομή θετικής ασυμμετρίας (σχήμα 7.32-E). Οι υψηλές συγκεντρώσεις σιδήρου που προσδιορίστηκαν σε αυτήν την φάση αποδίδονται προφανώς στην ύπαρξη οξειδίων

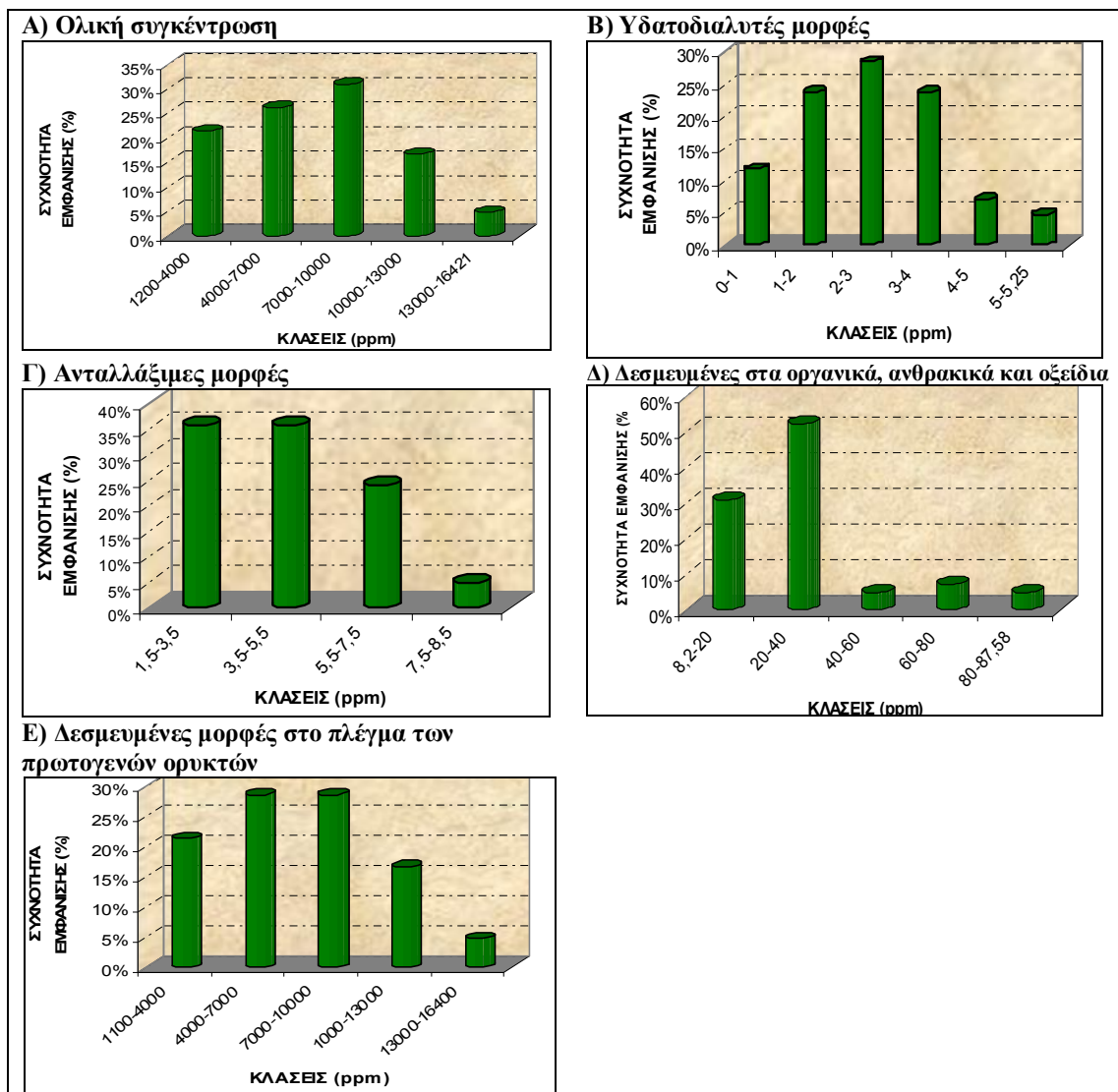
σιδήρου και μαγγανίου, κάτι που επιβεβαιώνεται κι από το χρώμα των εδαφών της περιοχής (καστανοκόκκινα). Ο σίδηρος Fe απαντάται στα εδάφη κυρίως σε μορφές οξειδίων και υδροξειδίων καθώς και στα γεμίσματα ρωγμών και φλεβών των μητρικών πετρωμάτων (Kabata-Pendias & Mukherjee, 2007).



**Σχήμα 7.31:** Χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων του Fe (ppm) στα εδάφη της περιοχής έρευνας (Α: ολικές Β: υδατοδιαλυτές, Γ: ανταλλάξιμες Δ: δεσμευμένες μορφές στις ανθρακικές κι οργανικές ενώσεις και τα οξείδια Fe & Mn, και Ε: Δεσμευμένες μορφές στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών).



Σύμφωνα με τους Kabata & Wilk (2004) οι συγκεντρώσεις των υδατοδιαλυτών μορφών σιδήρου αποτελούν το 0,01-0,1% του ολικού σιδήρου και οι ανταλλάξιμες το 0,05-0,21%, κάτι που παρατηρείται και στην περιοχή έρευνας με ποσοστά 0,06% και 0,1% αντίστοιχα (πίνακες 7.6, 7.7 και 7.8, σχήμα 7.30). Το μεγαλύτερο ποσοστό (99,48%) καταλαμβάνουν οι δεσμευμένες μορφές στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών.



**Σχήμα 7.32:** Ιστογράμματα συχνοτήτων των συγκεντρώσεων του Fe (ppm) των εδαφών της περιοχής έρευνας (A: Ολικές B: υδατοδιαλυτές, Γ: ανταλλάξιμες Δ: δεσμευμένες μορφές στις ανθρακικές κι οργανικές ενώσεις και τα οξείδια Fe & Mn, και E: Δεσμευμένες μορφές στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών).

### 7.9.2 Μαγγάνιο (Mn)

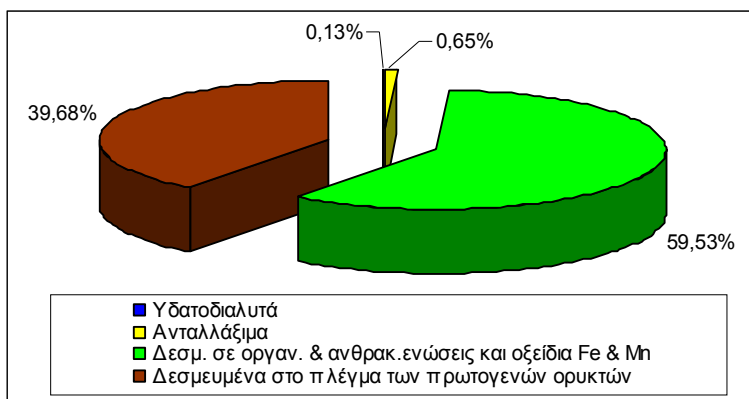
Το μαγγάνιο απαντάται στα εδάφη με τις μορφές  $Mn^{2+}$ ,  $Mn^{3+}$  και  $Mn^{4+}$ . Η διαθεσιμότητα του μαγγανίου αυξάνεται, όταν επικρατούν αναγωγικές συνθήκες ή όξινες τιμές pH, με κίνδυνο εμφάνισης φυτοτοξικότητας σε pH μικρότερα του 5,5 (Adriano 1986, Kabata-Pendias and Pendias, 1992).

Το μαγγάνιο συνδέεται με τον σίδηρο στις γεωχημικές διεργασίες κι ο κύκλος του ακολουθεί αυτόν του σιδήρου στα γεωχημικά περιβάλλοντα (Kabata-Pendias & Mukherjee, 2007). Στον κύκλο του μαγγανίου παίζουν επίσης σημαντικό ρόλο κι οι μικροοργανισμοί (Meharg et al., 2003). Στα εδάφη παρατηρείται συχνά με τη μορφή οξειδίων (Kabata-Pendias & Mukherjee, 2007), τα οποία υπό συγκεκριμένες εδαφικές συνθήκες δεσμεύουν τα στοιχεία Ca, Cd, Co, Cu, Mn, Ni, Pb και Sr (Tonkin et al., 2004). Η φάση των οξειδίων του μαγγανίου συνήθως περιέχει το μεγαλύτερο ποσοστό του μετάλλου, περίπου το 50% της ολικής περιεκτικότητας (Kabata-Pendias & Mukherjee, 2007).

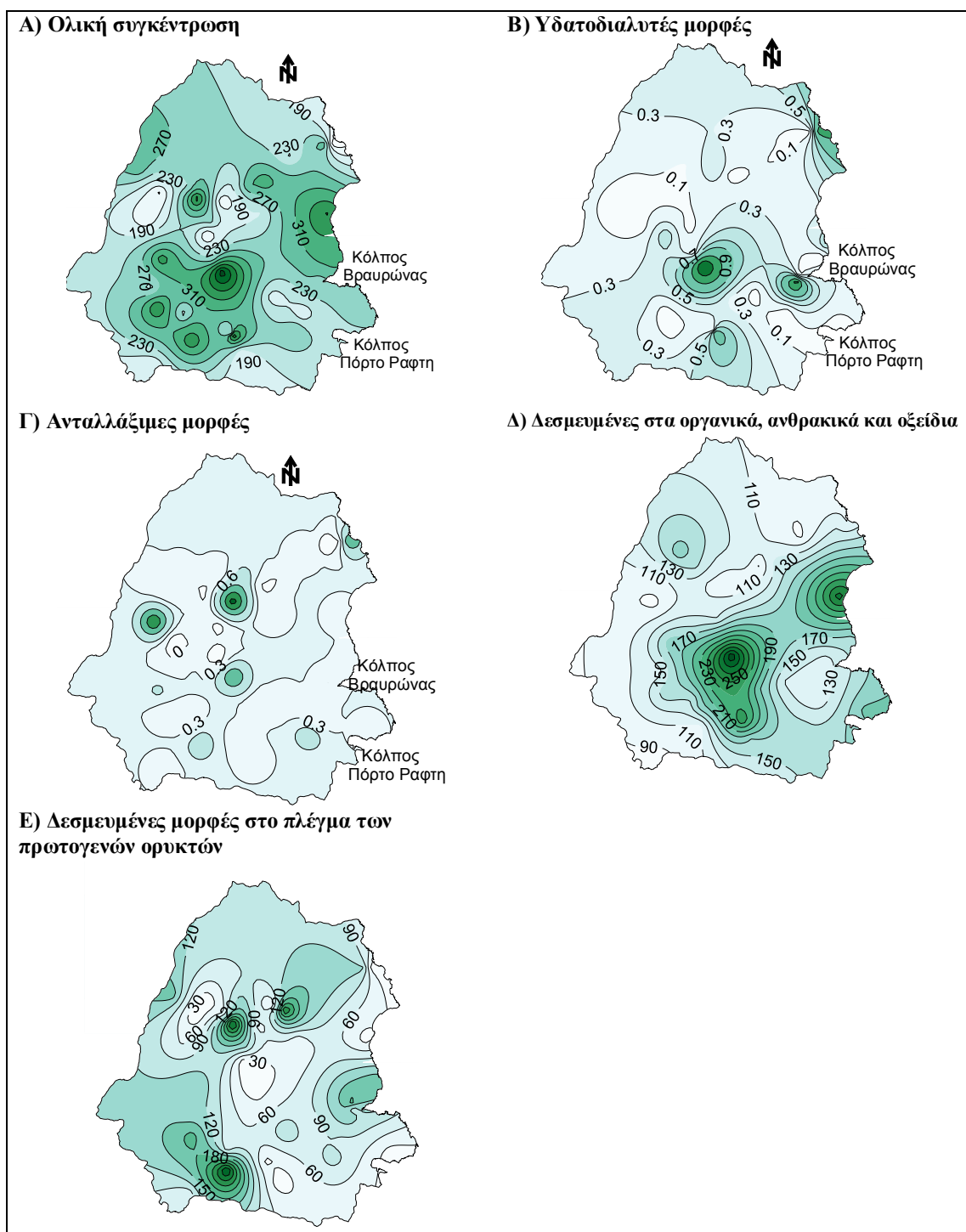
Οι συγκεντρώσεις μαγγανίου στα καλλιεργούμενα εδάφη συνδέονται με την εφαρμογή αγροχημικών (Mielke et al. 2002, Μήτσιος 2004) και κυρίως των φωσφορικών λιπασμάτων και της οργανικής ύλης ζωικής προέλευσης (Kabata-Pendias and Pendias, 1992).

Οι ολικές συγκεντρώσεις μαγγανίου που έχουν βρεθεί σε εδάφη άλλων περιοχών της Ελλάδας είναι 226,3ppm στην Κοζάνη (Stalikas et al., 1997), 156-2.231  $\mu\text{g}/\text{kg}$  στην Θεσσαλία (Mitsios et al., 2005), 405 – 1.040 ppm στην Αυλώνα (Atsarou and Economou-Eliopoulos, 2012) και 500 ppm σε αρχαιολογικούς χώρους της Ελλάδας (Bentliff et al., 1990).

**Ολικές συγκεντρώσεις μαγγανίου:** Οι ολικές συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων μαγγανίου στα εδάφη κυμαίνονται από 78 έως 499ppm με μέσο όρο 255ppm και θεωρούνται μη ρυπασμένα. Οι περισσότερες τιμές (45%) εμφανίζονται στη δεύτερη κλάση, από 200-300ppm (σχήμα 7.35-A). Από τις ολικές συγκεντρώσεις μαγγανίου το υψηλότερο ποσοστό καταλαμβάνουν οι δεσμευμένες μορφές στις οργανικές κι ανθρακικές ενώσεις και τα οξείδια με ποσοστό 60% (σχήμα 7.33) κι ακολουθούν οι συνδεδεμένες στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών με ποσοστό 40%. Η χωρική κατανομή των ολικών συγκεντρώσεων μαγγανίου (σχήμα 7.34-A) παρουσιάζει αυξητική τάση προς τα καλλιεργούμενα τμήματα της κεντρικής περιοχής έρευνας.

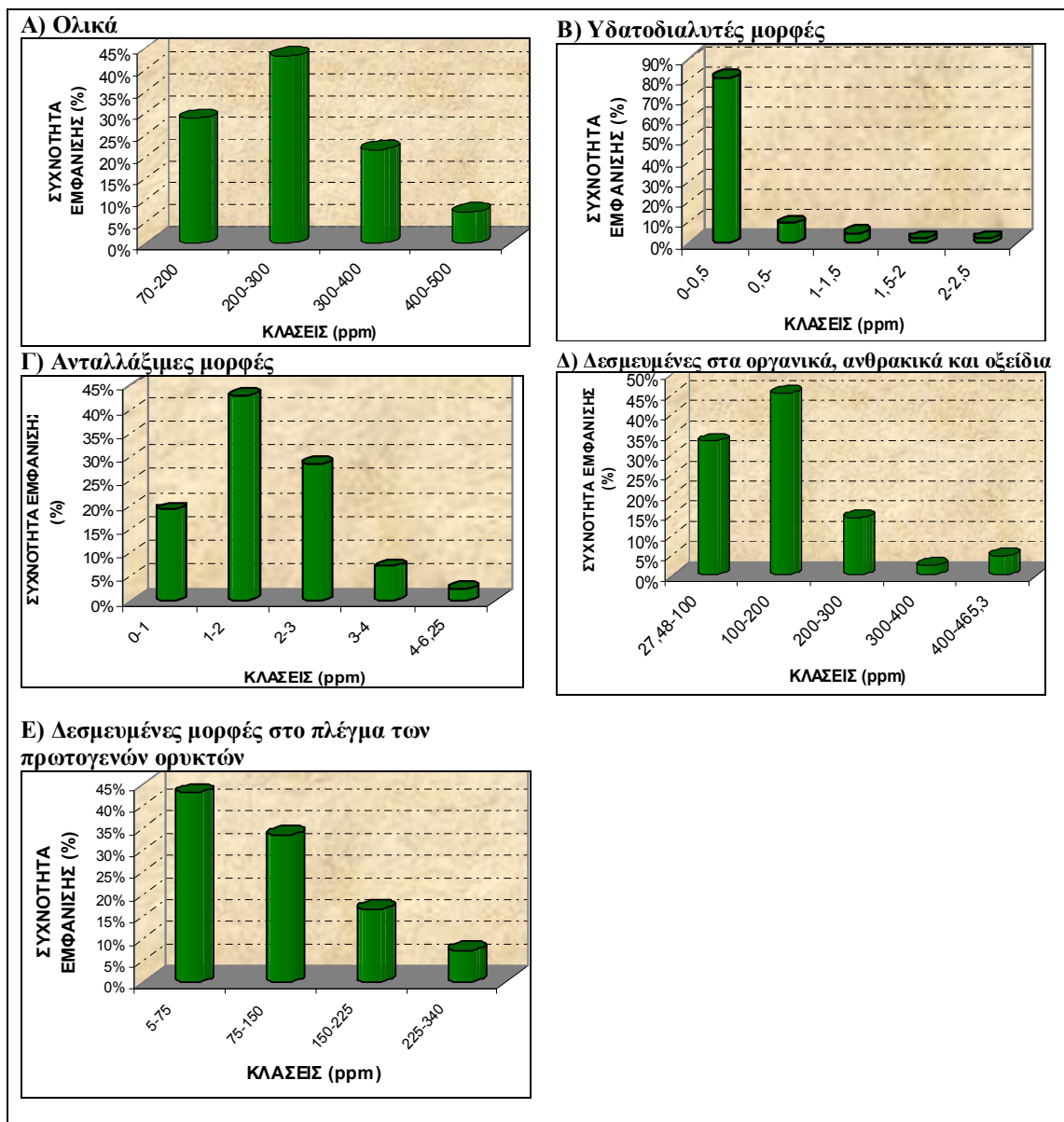


Σχήμα 7.33: Διάγραμμα ποσοστών συμμετοχής των διαφόρων φάσεων Mn επί των ολικών



**Σχήμα 7.34:** Χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων του Mn (ppm) στα εδάφη της περιοχής έρευνας (A: Ολικές B: υδατοδιαλυτές, Γ: ανταλλάξιμες Δ: δεσμευμένες μορφές στα οργανικά και ανθρακικά τεμαχίδια του εδάφους και τα οξειδία Fe & Mn, και E: Δεσμευμένες μορφές στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών).

**Υδατοδιαλυτές μορφές μαγγανίου:** Οι υδατοδιαλυτές μορφές του μαγγανίου παρουσιάζουν επικρατούσα κλάση (81% συχνότητα εμφάνισης) από 0-0,5 ppm (σχήμα 7.35-B). Οι τιμές κυμαίνονται από 0 έως 2,27 ppm και μέσο όρο 0,32 ppm. Ο συντελεστής διακύμανσης είναι σχετικά μικρός (0,52) αντικατοπτρίζοντας μικρή διασπορά των τιμών. Η χωρική κατανομή των υδατοδιαλυτών μορφών μαγγανίου στα εδάφη της περιοχής (σχήμα 7.34-B) παρουσιάζει αυξητικές τάσεις προς το νότιο καλλιεργούμενο τμήμα του κάμπου Μεσογείων.



**Σχήμα 7.35:** Ιστογράμματα συχνοτήτων των συγκεντρώσεων του Mn (ppm) των εδαφών της περιοχής έρευνας (A: Ολικές B: υδατοδιαλυτές, Γ: ανταλλάξιμες Δ: δεσμευμένες μορφές στα οργανικά και ανθρακικά τεμαχίδια του εδάφους και τα οξείδια Fe & Mn, και E: Δεσμευμένες μορφές στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών).

**Ανταλλάξιμες μορφές μαγγανίου:** Οι συγκεντρώσεις των ανταλλάξιμων μορφών Mn στα εδάφη της περιοχής κυμαίνονται από 0,04 έως 6,25 ppm και μέσο όρο 1,67 ppm. Ο συντελεστής διακύμανσης είναι 1,08. Επικρατούσα κλάση είναι από 1-2 ppm με 40% συχνότητα εμφάνισης (σχήμα 7.35-Γ). Η χωρική κατανομή των ανταλλάξιμων μορφών μαγγανίου αποτυπώνεται στο σχήμα 7.34-Γ.

**Δεσμευμένες μορφές μαγγανίου στα οξείδια Fe & Mn και τις οργανικές κι ανθρακικές ενώσεις:** Οι δεσμευμένες μορφές Mn στις ανθρακικές κι οργανικές ενώσεις και τα οξείδια Fe & Mn παρουσιάζουν το υψηλότερο μέσο όρο όλων των βαρέων μετάλλων αυτών των μορφών (153,41 ppm) και την υψηλότερη τιμή συγκέντρωσης (465,30 ppm). Η μεγάλη διασπορά των τιμών αποτυπώνεται και στον μέγιστο συντελεστή διακύμανσης (92,17) όλων των συγκεντρώσεων. Η κατανομή παρουσιάζει θετική ασυμμετρία και η πλειοψηφία των τιμών παρατηρούνται στις δύο πρώτες κλάσεις, από 27,48-100 ppm (σχήμα 7.35-Δ). Η χωρική κατανομή των δεσμευμένων μορφών μαγγανίου στις ανθρακικές κι οργανικές ενώσεις (σχ. 7.34-Δ) παρουσιάζει αυξητικές τάσεις προς το Νότιο τμήμα του κάμπου Μεσογείων (Σπάτα και Μαρκόπουλο) καθώς και προς την περιοχή της Αρτέμιδος.

**Δεσμευμένες μορφές σιδήρου στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών:** Οι συγκεντρώσεις μαγγανίου που βρίσκονται συνδεδεμένες στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών είναι αρκετά υψηλές, με τιμές που κυμαίνονται από 5,4 έως 339,65 ppm και μέσο όρο 101,33 ppm. Η κλάση με τη υψηλότερη συχνότητα εμφάνισης είναι από 5-75 ppm (σχήμα 7.35-Ε). Οι συγκεντρώσεις αυτές παρουσιάζουν αυξητική τάση προς το νοτιοδυτικό και στο κεντρικό βόρειο τμήμα της περιοχής (σχήμα 7.34-Ε). Η παρουσία του σχετίζεται με την ανάπτυξη των σχιστολίθων και των ανθρακικών σχηματισμών στις εν λόγω περιοχές. Στα ανθρακικά πετρώματα το Mn απαντάται με 842mg/kg (Alloway,1995).

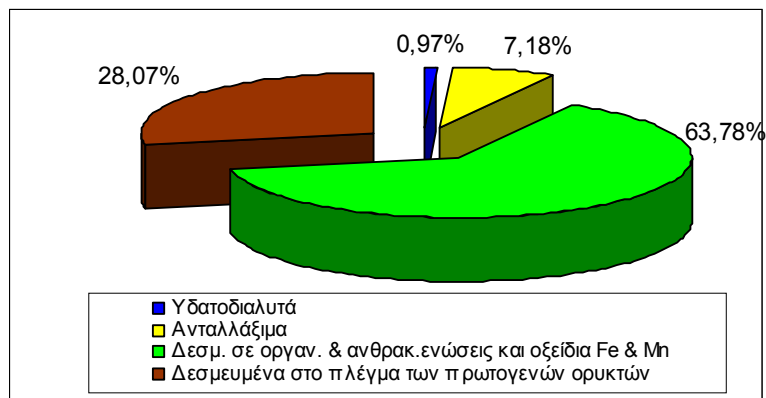
### 7.9.3 Χαλκός Cu

Ο χαλκός είναι ένα σύνθετος στοιχείο της λιθόσφαιρας και βρίσκεται στη φύση με τις μορφές,  $Cu^+$  και  $Cu^{2+}$ . Η δισθενής μορφή είναι αφομοιώσιμη από τα φυτά. Η ολική περιεκτικότητα του Cu στα εδάφη κυμαίνεται από 2-250 mg/kg. Έχει στενή σχέση με το θείο κι αυτό φαίνεται απ' τα πρωτεύοντα ορυκτά του, όπως ο χαλκοπυρίτης  $CuFeS_2$ , ο βορνίτης  $Cu_5FeS_4$ , ο χαλκοσίτης  $Cu_2S$  κι ο κοβελίτης  $CuS$ . Πολύ συχνά συνδέεται με το σφαλερίτη  $ZnS$  τον σιδηροπυρίτη  $FeS$  και το γαληνίτη  $PbS$  (Kabata-Pendias & Mukherjee, 2007). Η συγκέντρωση του χαλκού στα εδάφη κυμαίνεται από 20-30 ppm (Alloway,1995).

Η οργανική ουσία σχηματίζει σταθερές ενώσεις (σύμπλοκα) με το συγκεκριμένο στοιχείο, με αποτέλεσμα τη μείωση της διαθεσιμότητάς του για τα φυτά (Adriano 1986, Kabata-Pendias and Pendias 1992). Εκτός των οργανικών τεμαχιδίων, έχουν την τάση να δεσμεύουν τον χαλκό οι ανθρακικές ενώσεις, τα αργιλικά ορυκτά καθώς και τα υδροξείδια του σιδήρου και μαγγανίου (Janssen et al., 1997). Ο χαλκός συσσωρεύεται στα ανώτερα στρώματα του εδάφους, ενώ η κατανομή, η συμπεριφορά, η κινητικότητα κι η διαλυτότητά του επηρεάζονται από την κοκκομετρική σύσταση του εδάφους, το pH, την περιεκτικότητα σε οργανική ουσία, την θερμοκρασία και τη σύσταση των ορυκτών (Kabata-Pendias & Sadurski 2004, Kabata-Pendias & Mukherjee 2007).

Οι ολικές συγκεντρώσεις χαλκού που έχουν βρεθεί σε εδάφη άλλων περιοχών της Ελλάδας είναι 5-61 μg/kg στην Θεσσαλία (Mitsios et al., 2005), 19,2ppm σε αρχαιολογικούς χώρους της Ελλάδας (Bentliff et al., 1990) και 2,9ppm στην Κοζάνη (Stalikas et al.,1997).

**Ολικές συγκεντρώσεις χαλκού:** Οι τιμές των ολικών συγκεντρώσεων χαλκού στα εδάφη της περιοχής έρευνας κυμαίνονται από 10 έως 403ppm με μέσο όρο 26,9ppm. Οι περισσότερες τιμές (60%) εμφανίζονται στην πρώτη κλάση, από 10-17ppm (σχήμα 7.38-A). Από τις ολικές συγκεντρώσεις χαλκού το υψηλότερο ποσοστό καταλαμβάνουν, όπως και στο μαγγάνιο οι δεσμευμένες μορφές στις οργανικές κι ανθρακικές ενώσεις με ποσοστό 64% (σχήμα 7.36) κι ακολουθούν οι συνδεδεμένες στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών με ποσοστό 28%. Οι Kabata-Pendias & Mukherjee (2007) και Siegel (2002) θεωρούν ότι η γεωργία αποτελεί τη σημαντικότερη πηγή χαλκού στο έδαφος. Η χωρική κατανομή των ολικών συγκεντρώσεων χαλκού (σχήμα 7.37-A) παρουσιάζει αυξητική τάση προς το νότιο-δυτικό τμήμα όπου απαντώνται τα μικτά θειούχα ορυκτά καθώς και τα καλλιεργούμενα τμήματα του Κορωπίου.



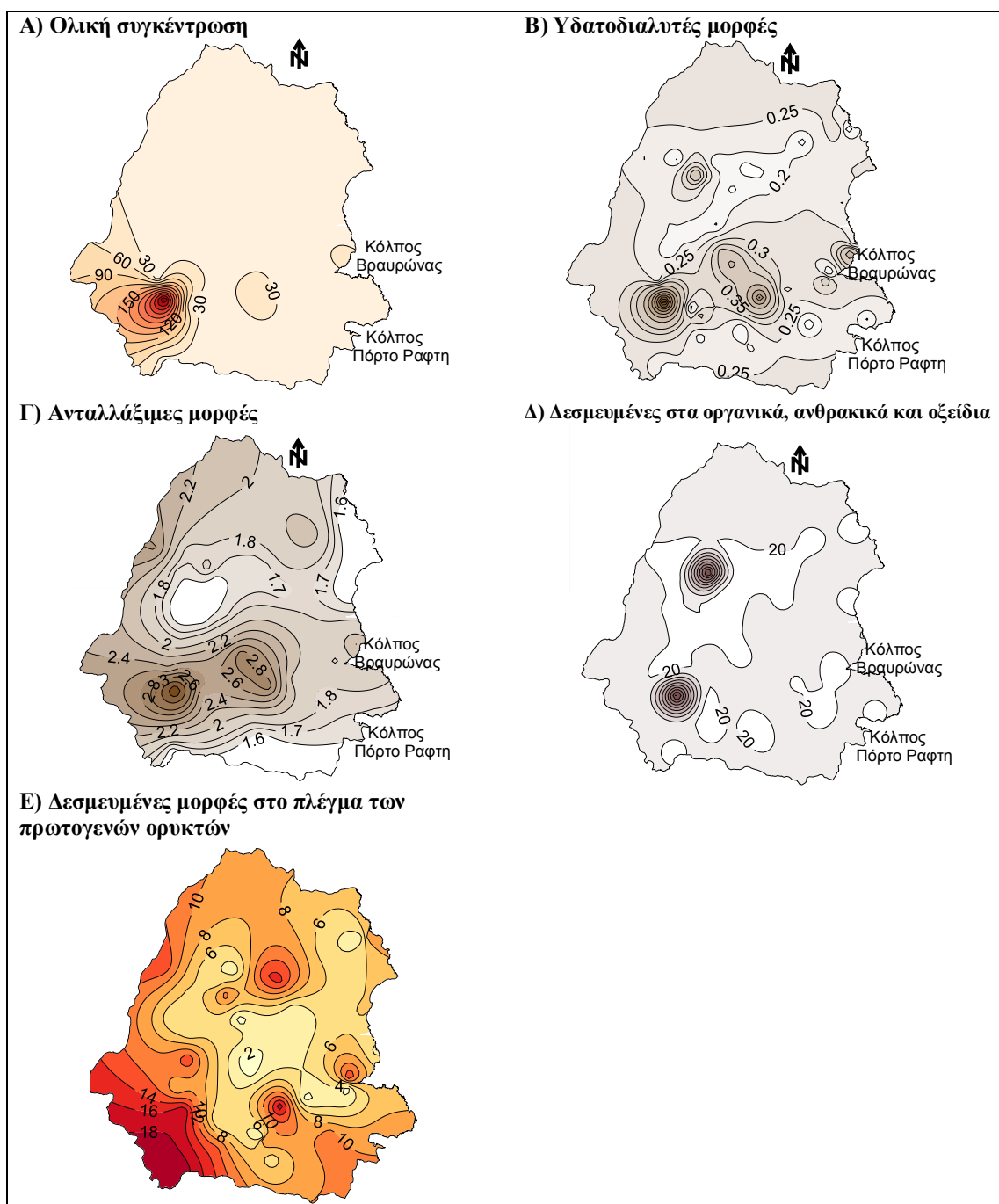
Σχήμα 7.36: Διάγραμμα ποσοστών συμμετοχής των διαφόρων φάσεων Cu επί των ολικών

**Υδατοδιαλυτές μορφές χαλκού:** Η πλειοψηφία των υδατοδιαλυτών συγκεντρώσεων χαλκού απαντώνται στην πρώτη κλάση, από 0 έως 0,3 ppm με συχνότητα εμφάνισης σχεδόν 80%, (σχήμα 7.38-B). Ο συντελεστής διακύμανσης είναι 0,23, αντικατοπτρίζοντας μικρή απόκλιση των τιμών γύρω από το μέσο αριθμητικό. Η χωρική κατανομή των υδατοδιαλυτών μορφών χαλκού (σχήμα 7.37-B) παρουσιάζει αυξητική τάση προς το νότιο τμήμα του καλλιεργούμενου κάμπου, στις περιοχές Κορωπί, Σπάτα και Βραυρώνα. Οι υψηλές συγκεντρώσεις αποδίδονται στην προσθήκη χαλκούχων σκευασμάτων και λιπασμάτων (Kabata-Pendias and Pendias 1992, Siegel 2002, [www.lenntech.com/heavy-metals.htm](http://www.lenntech.com/heavy-metals.htm)) που εφαρμόζονται κατά κόρον στις καλλιέργειες αμπέλου.

**Ανταλλάξιμες μορφές χαλκού:** Η πλειοψηφία των ανταλλάξιμων συγκεντρώσεων χαλκού παρατηρούνται στη 2<sup>η</sup> κλάση (σχήμα 7.38-Γ), από 1 έως 2 ppm. Οι ανταλλάξιμες μορφές χαλκού παρουσιάζουν επίσης αυξητική τάση προς το νότιο τμήμα του καλλιεργούμενου κάμπου κι αποδίδονται σε ανθρωπογενείς δραστηριότητες αγροτικής φύσεως. Άλλωστε, η γεωργία αποτελεί τη σημαντικότερη πηγή χαλκού στο έδαφος (Kabata-Pendias & Mukherjee 2007, Siegel 2002).

**Δεσμευμένες μορφές χαλκού στα οξείδια Fe & Mn και τις οργανικές κι ανθρακικές ενώσεις:** Ο χαλκός ανιχνεύθηκε σε πολύ μεγάλες συγκεντρώσεις στις δεσμευμένες μορφές στα οξείδια Fe & Mn και τις ανθρακικές και οργανικές ενώσεις, συγκριτικά με τις υδατοδιαλυτές κι ανταλλάξιμες μορφές του. Αυτό οφείλεται στην ιδιότητα του χαλκού να προσροφάται και να ακινητοποιείται στο έδαφος (Alloway, 1995) και στην τάση των οργανικών κι ανθρακικών ενώσεων να δεσμεύουν τον χαλκό (Janssen et al., 1997). Ο χαλκός παρατηρείται στα άμορφα οξείδια του σιδήρου σε ποσοστό 3-24% και στα κρυσταλλικά οξείδια του σιδήρου σε ποσοστό 5-29% (Karczewska, 2004).

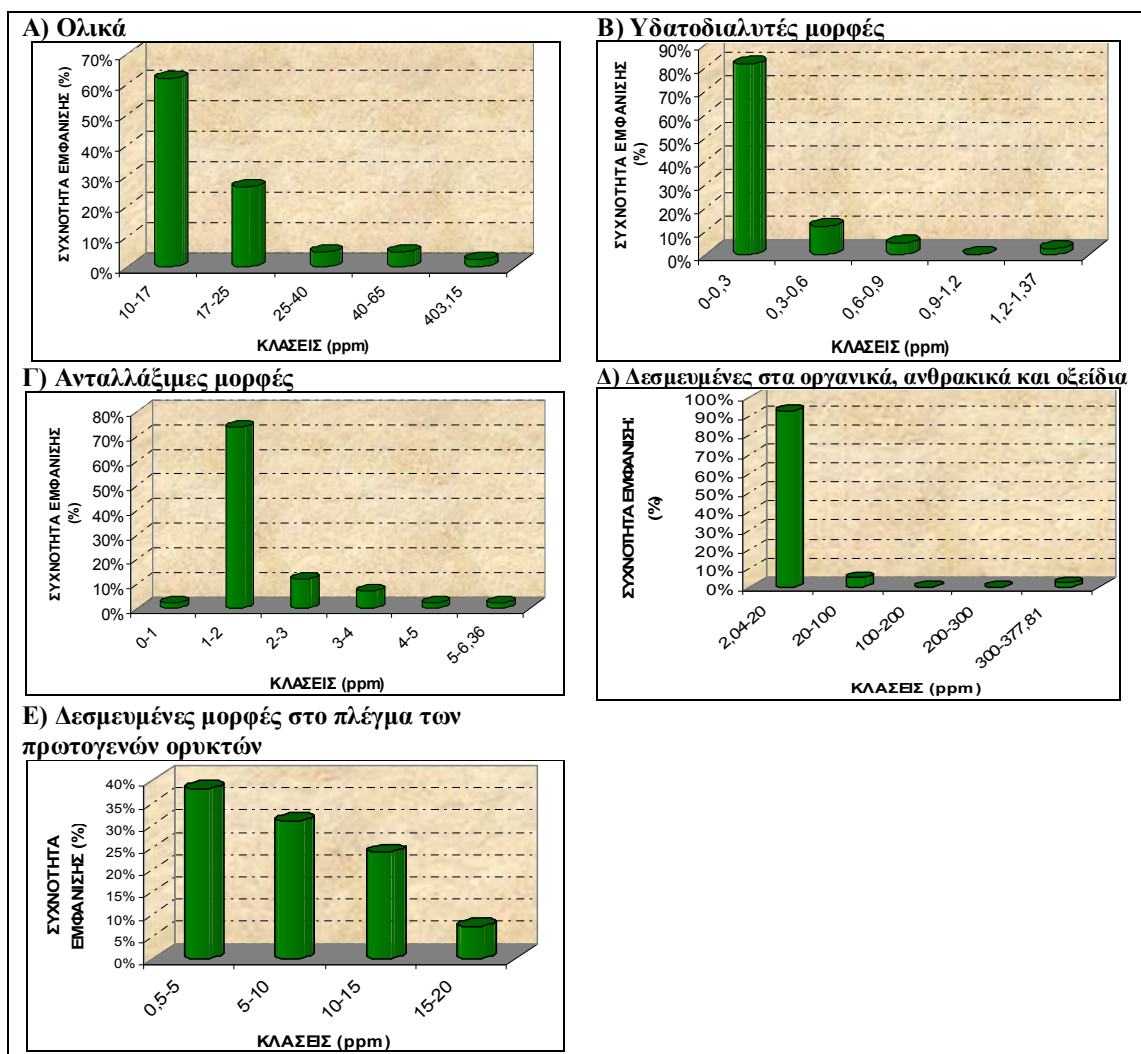




**Σχήμα 7.37:** Χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων του Cu (ppm) στα εδάφη της περιοχής έρευνας (A: Ολικές B: υδατοδιαλυτές, Γ: ανταλλάξιμες Δ: δεσμευμένες μορφές στα οργανικά και ανθρακικά τεμαχίδια του εδάφους και τα οξειδία Fe & Mn, και E: Δεσμευμένες μορφές στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών).

Η χωρική κατανομή αυτών των μορφών (σχήμα 7.37-Δ) δείχνει υψηλές συγκεντρώσεις στην περιοχή των Γλυκών Νερών καθώς και του Κορωπίου, περιοχή όπου βρέθηκαν υψηλές οι συγκεντρώσεις όλων των μορφών χαλκού. Απ' ότι αποδεικνύεται, σημαντικό ποσοστό της παρουσίας του Cu στα εδάφη της περιοχής έρευνας αποδίδεται και σε ανθρωπογενείς παράγοντες, όπως η εφαρμογή αγροχημικών (Kabata-Pendias and Pendias 1992, Mielke et al. 2002, Siegel 2002, Μήτσος 2004, [www.lenntech.com/heavy-metals.htm](http://www.lenntech.com/heavy-metals.htm)).

Οι περισσότερες τιμές (90%) των δεσμευμένων συγκεντρώσεων στις ανθρακικές, οργανικές ενώσεις και τα οξείδια Fe & Mn βρίσκονται στην πρώτη κλάση από 2,04 έως 20 ppm (σχήμα 7.38-Δ). Η διασπορά των τιμών είναι πολύ μεγάλη, όπως φαίνεται κι απ' τον συντελεστή διακύμανσης (57,51) του πίνακα 7.8.



**Σχήμα 7.38:** Ιστογράμματα συχνοτήτων των συγκεντρώσεων του Cu (ppm) των εδαφών της περιοχής έρευνας (Α: Ολικές Β: υδατοδιαλυτές, Γ: ανταλλάξιμες Δ: δεσμευμένες μορφές στα οργανικά και ανθρακικά τεμαχίδια του εδάφους και τα οξείδια Fe & Mn, και Ε: Δεσμευμένες μορφές στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών).



**Δεσμευμένες μορφές χαλκού στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών:** Οι συγκεντρώσεις χαλκού που βρίσκονται συνδεδεμένες στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών κυμαίνονται από 0,76 έως 19,53 ppm και μέσο όρο 7,54 ppm. Η κλάση με τη μέγιστη συχνότητα εμφάνισης είναι η πρώτη, από 0,5-5ppm (σχήμα 7.38-E). Οι συγκεντρώσεις οφείλονται στην ελευθέρωση των δεσμευμένων μορφών χαλκού στα οξείδια του σιδήρου και μαγγανίου τα οποία έχουν την τάση να δεσμεύουν αυτό το στοιχείο (Janssen et al., 1997). Οι συνδεδεμένες στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών συγκεντρώσεις χαλκού παρουσιάζουν αυξητική τάση προς το νοτιοδυτικό τμήμα της περιοχής (σχήμα 7.37-E) λόγω της παρουσίας των διαφόρων οξειδίων και μικτών θειούχων εντός των ρωγματομένων κρητιδικών ανθρακικών πετρωμάτων της περιοχής, της στενής σχέσης του Cu με το S και τη συνύπαρξή τους σε πολλά πρωτεύοντα ορυκτά (Kabata-Pendias & Mukherjee, 2007).

#### 7.9.4 Ψευδάργυρος Zn

Ο Zn βρίσκεται στη φύση με τη δισθενή του μορφή,  $Zn^{2+}$ , ενώ στο εδαφικό διάλυμα βρίσκεται και με τη μορφή συμπλόκων ιόντων:  $Zn(OH)^+$ ,  $Zn(OH)_3^-$ ,  $Zn(OH)_2$ . Στα εδάφη η περιεκτικότητα Zn κυμαίνεται από 15 έως 125ppm με μια μέση τιμή γύρω στα 64ppm. Η ολική συγκέντρωση του Zn στα εδάφη κυμαίνεται από 10-300 mg/kg (Kabata-Pendias and Pendias, 1992). Το πιο σύνηθες ορυκτό του Zn είναι ο σφαλερίτης ZnS (Kabata-Pendias & Mukherjee, 2007). Σε αντίθεση με τα  $Cd^{2+}$  και  $Mn^{2+}$ , ο  $Zn^{2+}$  δεσμεύεται γρήγορα στην επιφάνεια των ασβεστιτικών πετρωμάτων (Doner & Grossl, 2002). Οι μορφές του Zn που είναι εύκολα διαθέσιμες για τα φυτά είναι η υδατοδιαλυτή κι η ανταλλάξιμη (Adriano, 1986). Ο Zn καθίσταται πολύ ευκίνητος κατά την έκπλυση και εύκολα κατακρημνίσιμος σε αντίδραση με ανθρακικά ιόντα (Kabata-Pendias & Mukherjee, 2007). Τα ανθρακικά και πυριτικά άλατα, τα φωσφορικά, τα οξείδια και η οργανική ουσία συντελούν στη διατήρηση του Zn στο έδαφος (McBride et al., 1997).

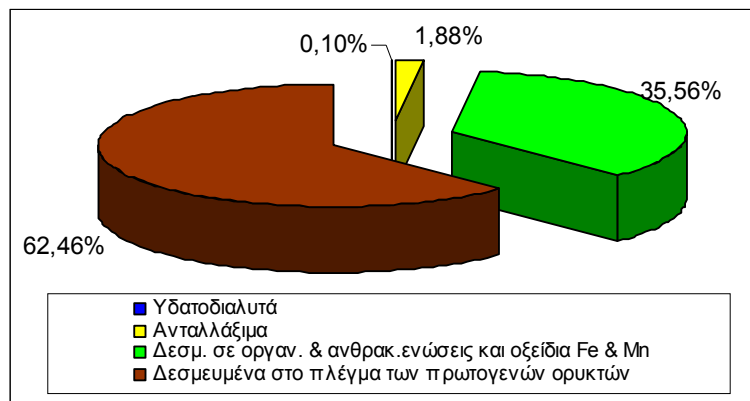
Ο Zn του εδάφους προέρχεται από την εξαλλοίωση του ορυκτού σφαλερίτη (ZnS) καθώς και διαφόρων σιδηρομαγνησιούχων ορυκτών (αυγίτης, κεροστίλβης, βιοτίτης κτλ), και δευτερογενών ορυκτών της αργίλου, όπου ο Zn βρίσκεται σαν δευτερεύον συστατικό τους. Σημαντική επίσης πηγή ψευδαργύρου ιδιαίτερα στα οργανικά εδάφη, είναι τα διάφορα φυτικά και ζωικά υπολείμματα που με την αποικοδόμησή τους απελευθερώνουν  $Zn^{2+}$  στο έδαφος. Γενικά, εδάφη προερχόμενα από αποσάθρωση αλκαλικών και ασβεστολιθικών πετρωμάτων είναι πλουσιότερα σε ψευδάργυρο σε σύγκριση με αυτά που σχηματίστηκαν από γνεύσιους ή χαλαζία. Τα αμμώδη εδάφη θεωρούνται φτωχότερα σε διαθέσιμο Zn από ότι τα λεπτότερης υφής εδάφη (Καλλιάνου, 2007).

Οι συγκεντρώσεις ψευδαργύρου στα καλλιεργούμενα εδάφη συνδέονται με την εφαρμογή αγροχημικών καθώς ο ψευδάργυρος είναι κύριο συστατικό πολλών φυτοφαρμάκων και κυρίως των υπερφωσφορικών λιπασμάτων (Ross 1994, Siegel 2002, Μήτσιος 2004, Kabata-Pendias & Mukherjee 2007, [www.lenntech.com/heavy-metals.htm](http://www.lenntech.com/heavy-metals.htm)).

Οι ολικές συγκεντρώσεις ψευδαργύρου που έχουν βρεθεί σε εδάφη άλλων περιοχών της Ελλάδας παρουσιάζουν μεγάλο εύρος τιμών ήτοι: 12-57  $\mu\text{g}/\text{kg}$  στην Θεσσαλία (Mitsios et al., 2005), 55 - 370 ppm στην Αυλώνα (Atsarou and Economou-Eliopoulos, 2012) 30,9 ppm σε αρχαιολογικούς χώρους της Ελλάδας (Bentliff et al., 1990) και 6,4ppm στην Κοζάνη (Stalikas et al., 1997).

**Ολικές συγκεντρώσεις ψευδαργύρου:** Οι ολικές συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων ψευδαργύρου στα εδάφη της περιοχής έρευνας παρουσιάζουν μεγάλο εύρος τιμών που κυμαίνονται από 1,95 έως 295,7ppm με μέσο όρο 37,8ppm. Οι τιμές αυτές τα καθιστούν ελαφρώς ρυπασμένα.

Οι περισσότερες τιμές (45%) εμφανίζονται στις δύο πρώτες κλάσεις, από 0-20ppm (σχήμα 7.41-A). Από τις ολικές συγκεντρώσεις ψευδαργύρου το υψηλότερο ποσοστό (62,5%) καταλαμβάνουν οι δεσμευμένες μορφές στο κρυσταλλικό πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών (σχήμα 7.39). Η χωρική κατανομή των ολικών συγκεντρώσεων ψευδαργύρου (σχήμα 7.40-A) παρουσιάζει αυξητική τάση προς τα νότια τμήματα της περιοχής έρευνας όπου απαντώνται οι σχιστόλιθοι και οι ρηγματωμένοι κρητιδικοί ασβεστόλιθοι που περιέχουν διάφορα οξείδια και μικτά θειούχα ορυκτά.



**Σχήμα 7.39:** Διάγραμμα ποσοστών συμμετοχής των διαφόρων φάσεων Zn επί των ολικών

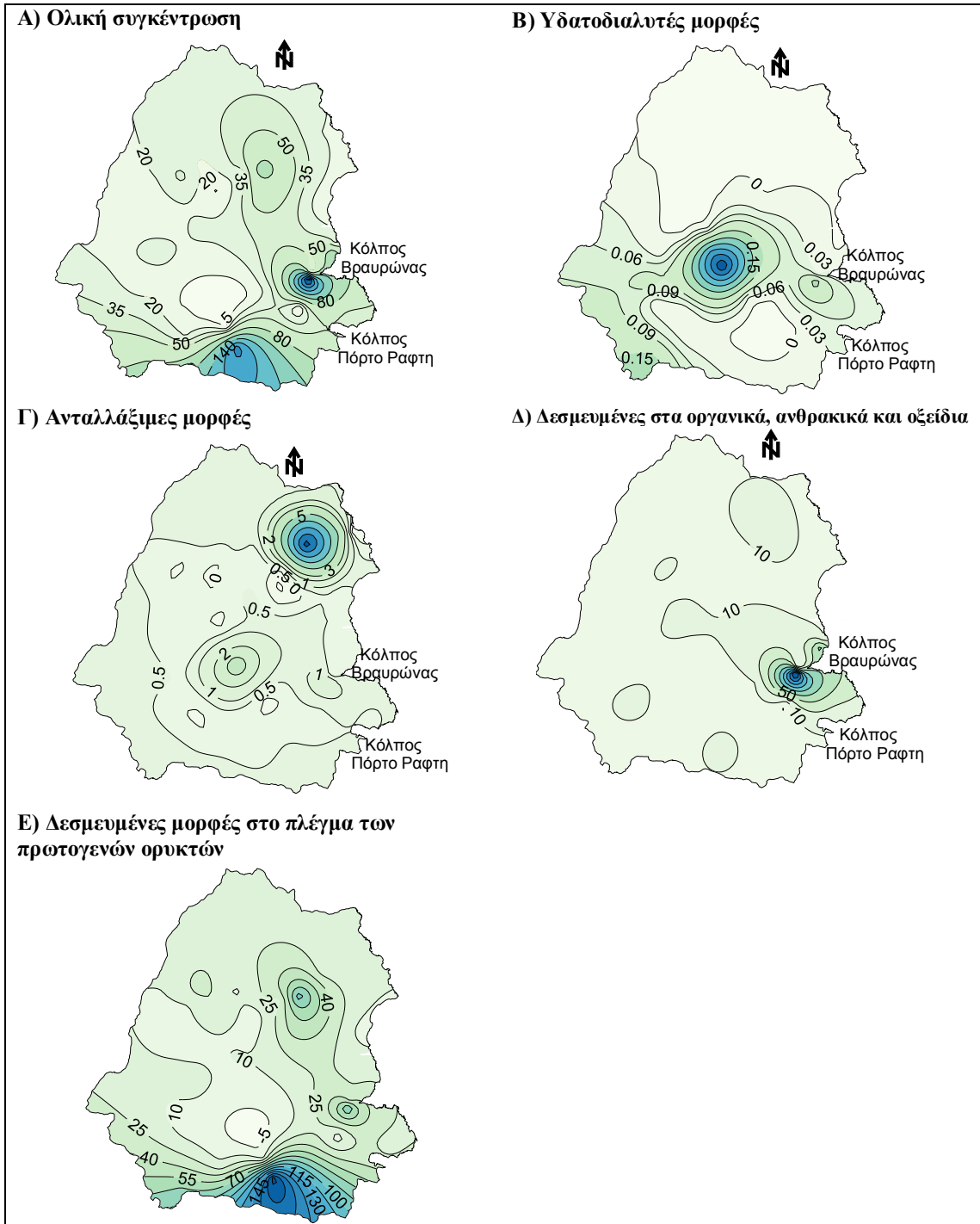
**Υδατοδιαλυτές μορφές ψευδαργύρου:** Η πλειοψηφία των συγκεντρώσεων των υδατοδιαλυτών μορφών ψευδαργύρου είναι μηδέν (1<sup>η</sup> κλάση –σχήμα 7.41-B). Η διασπορά των τιμών είναι πολύ μικρή (s.d.=0,11). Οι υδατοδιαλυτές μορφές παρατηρούνται κυρίως στον καλλιεργούμενο κάμπο των Σπάτων (σχήμα 7.40-B).

**Ανταλλάξιμες μορφές ψευδαργύρου:** Οι περισσότερες συγκεντρώσεις των ανταλλάξιμων μορφών ψευδαργύρου είναι μηδέν (1<sup>η</sup> κλάση –σχήμα 7.41-Γ) με συντελεστή διακύμανσης s.d.=2,29. Αυξητική τάση παρατηρείται προς το κέντρο του καλλιεργούμενου κάμπου Μεσογείων. Η υψηλότερη συγκέντρωση παρατηρήθηκε σε καλλιεργούμενο τμήμα της περιοχής του Πικερμίου (σχήμα 7.40-Γ), όπου παρατηρείται και λιγνιτοφορία.

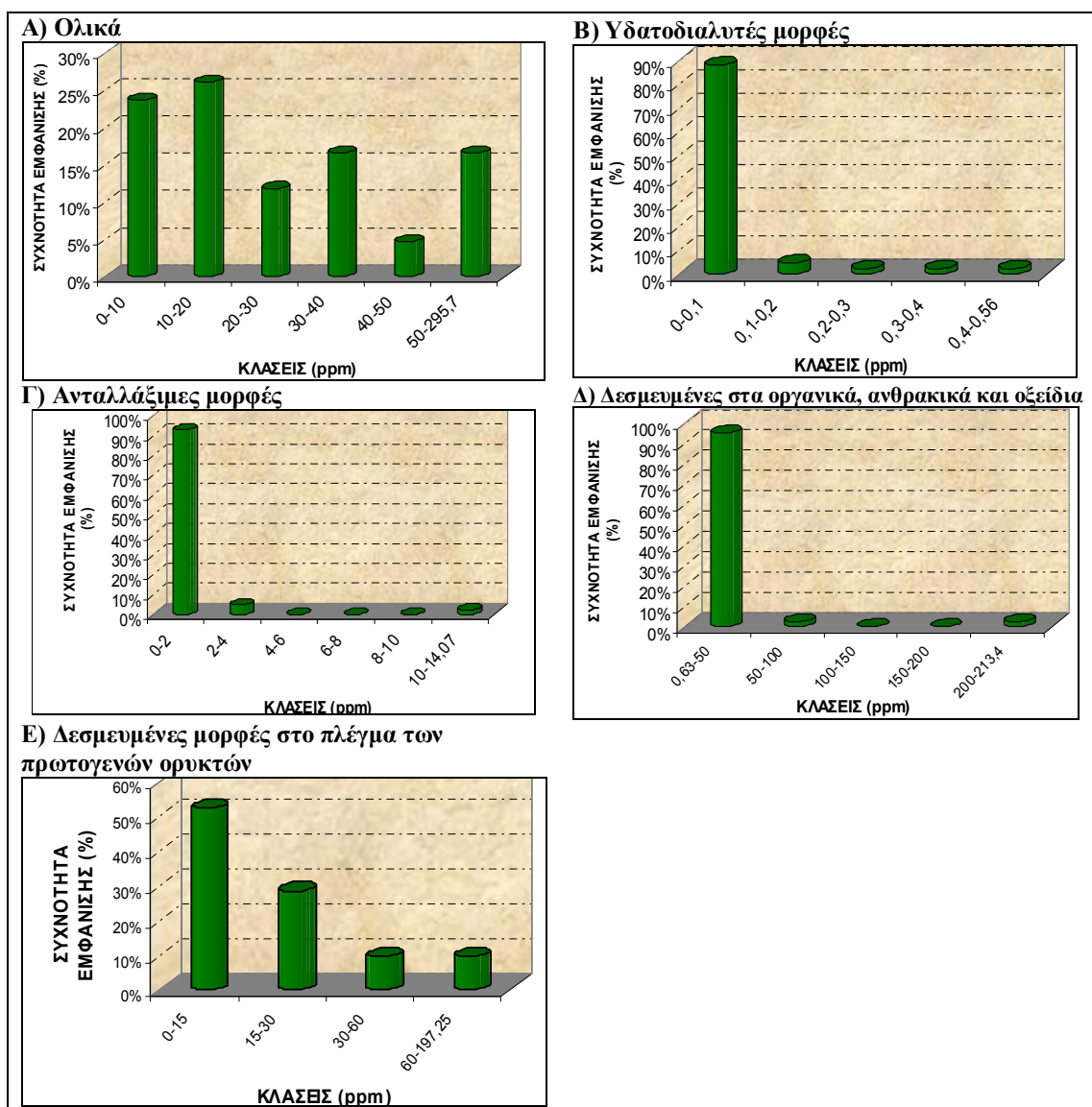
**Δεσμευμένες μορφές ψευδαργύρου στα οξείδια Fe & Mn και τις οργανικές κι ανθρακικές ενώσεις:** Οι δεσμευμένες μορφές ψευδαργύρου στις ανθρακικές κι οργανικές ενώσεις και τα οξείδια Fe & Mn παρουσιάζουν μεγάλο εύρος τιμών, από 0,63 έως 213,4ppm, με μέσο όρο 13,43 ppm. Η διασπορά των τιμών γύρω από τον αριθμητικό μέσο είναι πολύ μεγάλη (s.d.= 33,84). Επικρατούσα κλάση, με συχνότητα εμφάνισης 90%, είναι η πρώτη με τιμές από 0,63 έως 50 ppm (σχήμα 7.41-Δ). Οι υψηλές τιμές αποδίδονται στη συγκράτηση Zn από τα οξείδια του Fe & Mn (Kabata-Pendias & Mukherjee, 2007). Ο Zn στα άμορφα οξείδια του Fe αποτελεί το 3-25%, ενώ στα κρυσταλλικά οξείδια του Fe το 15-34% (Karczewska, 2004).

Η υψηλότερη τιμή (275 ppm) των δεσμευμένων μορφών ψευδαργύρου στις ανθρακικές κι οργανικές ενώσεις και τα οξείδια Fe & Mn εντοπίστηκε κοντά σε κτηνοτροφική μονάδα της Βραυρώνας (σχήμα 7.40-Δ) κι αποδίδεται στην απελευθέρωση Zn<sup>2+</sup> στο έδαφος κατά την αποικοδόμηση των ζωικών υπολειμμάτων (Καλλιάνου, 2007). Στο ίδιο σημείο εντοπίστηκαν υψηλές συγκεντρώσεις στις αντίστοιχες μορφές των Pb,

Fe, Cd καθώς και P. Ο φώσφορος επιδρά στην πρόσληψη, μετακίνηση και μεταβολισμό του ψευδαργύρου. Αλληλεπιδράσεις του ψευδαργύρου παρατηρούνται και με το κάδμιο (Καλλιάνου, 2007).



**Σχήμα 7.40:** Χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων του Zn (ppm) στα εδάφη της περιοχής έρευνας (Α: Ολικές Β: υδατοδιαλυτές, Γ: ανταλλάξιμες Δ: δεσμευμένες μορφές στα οργανικά και ανθρακικά τεμαχίδια του εδάφους και τα οξείδια Fe & Mn, και Ε: Δεσμευμένες μορφές στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών).



**Σχήμα 7.41:** Ιστογράμματα συχνοτήτων των συγκεντρώσεων του Zn (ppm) των εδαφών της περιοχής έρευνας (A: Ολικές B: υδατοδιαλυτές, Γ: ανταλλάξιμες Δ: δεσμευμένες μορφές στα οργανικά και ανθρακικά τεμαχίδια του εδάφους και τα οξείδια Fe & Mn, και E: Δεσμευμένες μορφές στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών).

**Δεσμευμένες μορφές ψευδαργύρου στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών:** Οι συνδεδεμένες στο πλέγμα των ορυκτών των μητρικών πετρωμάτων συγκεντρώσεις ψευδαργύρου κυμαίνονται από 0,7 έως 197,25 ppm, και μέσο όρο 23,59 ppm. Η κλάση με τη υψηλότερη συχνότητα εμφάνισης είναι η πρώτη, από 0,7-15ppm (σχήμα 7.41-E). Οι συγκεντρώσεις αυτές οφείλονται στην ιδιότητα της αργλικής φάσης να συγκρατεί ισχυρά τον Zn, ιδιαίτερα σε ουδέτερα και αλκαλικά pH (Kabata-Pendias & Pendias 2001, Peganova & Edler 2004, Shtangeeva et al. 2005, Kabata-Pendias & Mukherjee 2007).

Από τη χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων ψευδαργύρου στο πλέγμα των ορυκτών (σχήμα 7.40-E) διαπιστώνεται μια αυξητική τάση προς το νότιο τμήμα, στην περιοχή του Μαρκοπούλου, όπου αναπτύσσονται οι σχιστόλιθοι. Η αυξητική τάση του ψευδαργύρου προς την περιοχή της Ραφήνας αποδίδεται στη παρουσία των λιγνιτοφόρων οριζόντων εντός των Νεογενών σχηματισμών. Οι συγκεντρώσεις του ψευδαργύρου που

προσδιορίζονται στην τέφρα των λιγνιτών των διαφόρων λεκανών της Ελλάδος κυμαίνονται μεταξύ 57 και 98 ppm στην Πτολεμαΐδα, μεταξύ 110 και 185ppm στη Μεγαλόπολη, μεταξύ 50 και 547 ppm στην Φλώρινα, μεταξύ 50 και 242 ppm στη Δράμα και μεταξύ 130 και 151 ppm στα Ιωάννινα (Foscolos et al. 1989, Foscolos et al. 1998).

### 7.9.5 Κάδμιο Cd

Το Cd βρίσκεται στη φύση με τη δισθενή του μορφή,  $Cd^{2+}$ , ενώ στο εδαφικό διάλυμα υπάρχει και με τη μορφή συμπλόκων ιόντων:  $CdCl^+$ ,  $CdOH^+$ ,  $CdHCO_3^+$ ,  $CdCl_3^-$ ,  $CdCl_4^{2-}$ ,  $Cd(OH)_3^-$ ,  $Cd(OH)_4^{2-}$ . Η μορφή του Cd που προσροφάται από τα φυτά είναι η δισθενής (Kabata-Pendias, 2001). Το Cd έχει παρεμφερείς ιοντικές δομές με τον Zn, αλλά πιο ισχυρό δεσμό με το S συγκριτικά με τον Zn (Kabata-Pendias & Mukherjee, 2007). Το Cd στο εδαφικό διάλυμα παρατηρείται σε σύμπλοκα διαφόρων οργανικών οξέων, όπως αμινοξέα, χουμικά και φουλβικά οξέα (Welch and Norvell, 1999). Ο κύριος παράγοντας που επηρεάζει τη συγκράτηση του Cd στα εδάφη είναι το pH, σε συνδυασμό με την οργανική ουσία και τα υδροξείδια Fe και Mn. Έτσι, η συγκράτηση του Cd αυξάνεται σε αλκαλικές τιμές pH (Alloway 1995, Kabata-Pendias and Pendias 1992).

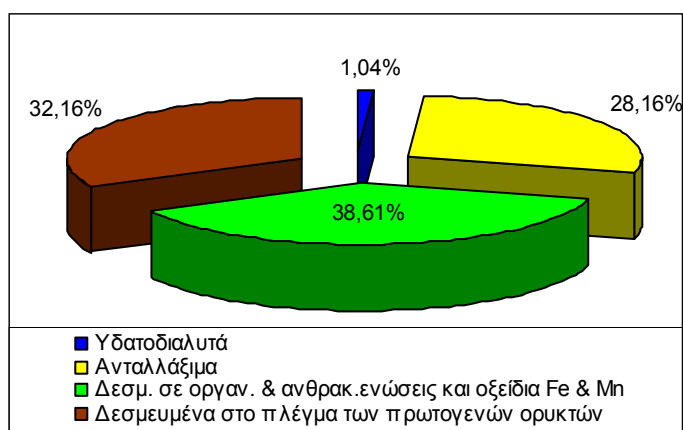
Στο εδαφικό προφίλ το Cd συνήθως βρίσκεται στον επιφανειακό ορίζοντα, διότι: α) είναι η ζώνη με την υψηλότερη συγκέντρωση οργανικής ουσίας, η οποία προσροφά τα μέταλλα, β) καταλήγει εκεί σαν αποτέλεσμα ανακύκλωσης μέσω της βλάστησης, γ) προστίθεται στο έδαφος με την εφαρμογή λιπασμάτων ή οργανικής ύλης ζωικής προέλευσης, που περιέχουν Cd και δ) προστίθεται επιφανειακά με υγρή ή ξηρή απόθεση από την ατμόσφαιρα (Das et al., 1997). Η γεωργία κι η κτηνοτροφία αυξάνουν τις συγκεντρώσεις καδμίου στο έδαφος (Siegel, 2002) κι είναι ανάλογες με το ρυθμό εφαρμογής των λιπασμάτων (Anderson and Siman, 1991).

Οι ολικές συγκεντρώσεις καδμίου που έχουν βρεθεί στην Θεσσαλία κυμαίνονται μεταξύ 30 και 930μg/kg (Mitsios et al., 2005).

**Ολικές συγκεντρώσεις καδμίου:** Οι ολικές συγκεντρώσεις καδμίου στα εδάφη κυμαίνονται από 1,25 έως 5,92ppm με μέσο όρο 1,96ppm και θεωρούνται μη ρυπασμένα. Οι περισσότερες τιμές (73%) δεν ξεπερνούν τα 3ppm (σχήμα 7.44-A). Το υψηλότερο ποσοστό των ολικών συγκεντρώσεων Cd καταλαμβάνουν, μορφές που αποδίδονται κυρίως σε ανθρωπογενείς παράγοντες σε ποσοστό 78% επί του συνόλου, και μόλις 32% καταλαμβάνουν οι συνδεδεμένες στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών (σχήμα 7.42).

Η υπεροχή των ανθρωπογενών επιδράσεων στη διαμόρφωση των ολικών συγκεντρώσεων καδμίου αποτυπώνεται και στη χωρική κατανομή αυτών (σχήμα 7.43-A) με αυξητική τάση προς την καλλιεργούμενη περιοχή της πηγής της Βραυρώνας που δέχεται τα λύματα γειτονικής κτηνοτροφικής εγκατάστασης.

**Υδατοδιαλυτές μορφές καδμίου:** Το κάδμιο ανιχνεύτηκε σε όλες τις μορφές του σχεδόν σε χαμηλές συγκεντρώσεις. Στις υδατοδιαλυτές μορφές καδμίου επικρατούν οι πρώτες κλάσεις (από 0 έως 0,04 ppm – σχήμα 7.44-B). Ο συντελεστής διακύμανσης είναι ο μικρότερος των υδατοδιαλυτών μορφών υποδηλώνοντας τη μικρή διασπορά των τιμών. Η χωρική κατανομή των υδατοδιαλυτών μορφών (σχ. 7.43-B) δείχνει αυξητική τάση προς την περιοχή του Κορωπίου. Πάνω από το 90% του καδμίου των εδαφών που έχει προέλθει από διάφορες πηγές ρύπανσης παραμένει στα ανώτερα 15cm του εδάφους (Alloway & Steinnes, 1999).



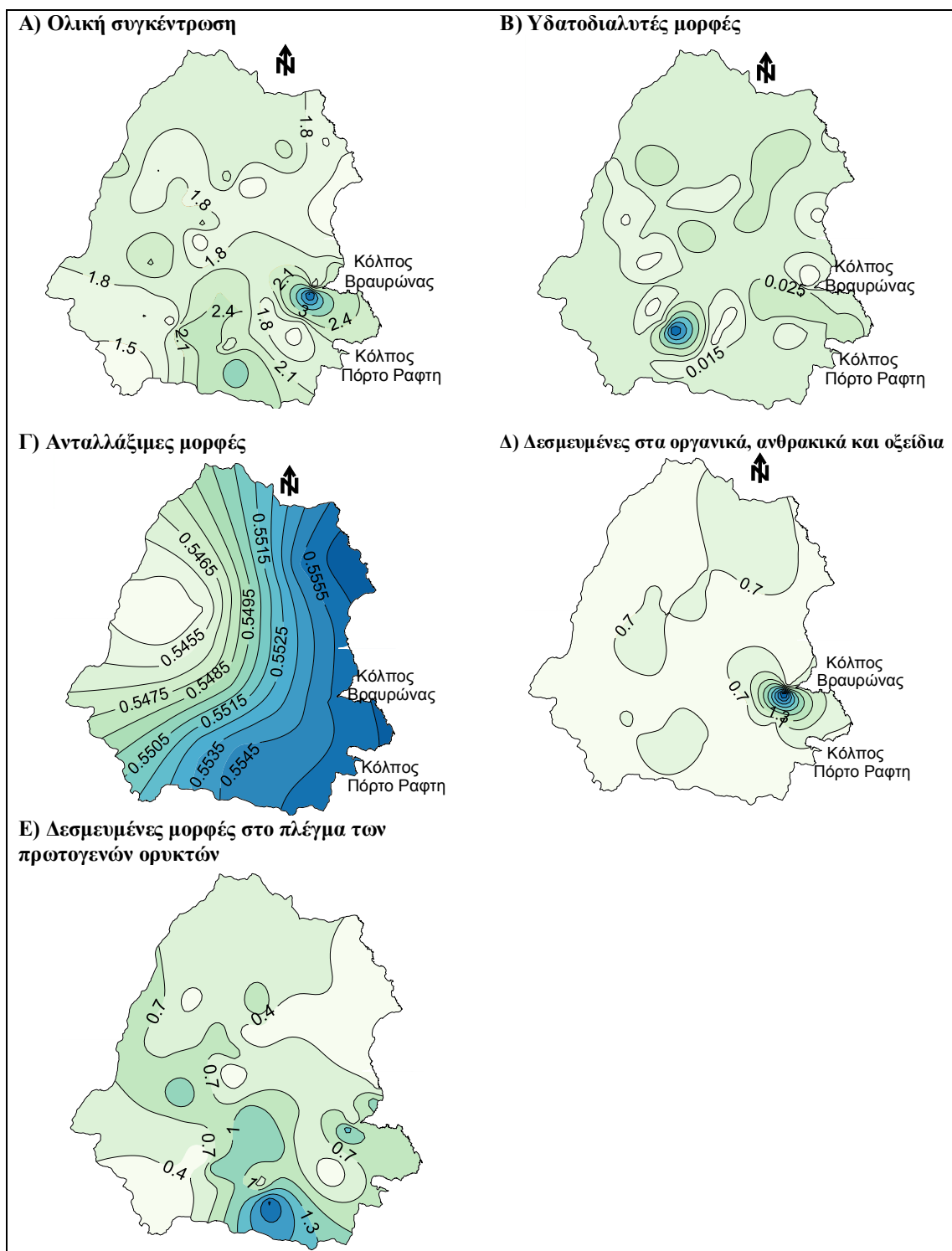
Σχήμα 7.42: Διάγραμμα ποσοστών συμμετοχής των διαφόρων φάσεων Cd επί των ολικών

**Ανταλλάξιμες μορφές καδμίου:** Στις ανταλλάξιμες μορφές καδμίου επικρατεί η κλάση από 0,4 έως 0,6 ppm (σχήμα 7.44-Γ). Ο συντελεστής διακύμανσης είναι επίσης ο μικρότερος όλων των ανταλλάξιμων μορφών αντικατοπτρίζοντας μικρή διασπορά των τιμών γύρω από τον αριθμητικό μέσο. Σύμφωνα με την Kabata-Pendias (1993) πάνω από το 20% των συγκεντρώσεων καδμίου ανήκει στις εύκολα διαλυτές κι ανταλλάξιμες φάσεις, κάτι που επιβεβαιώνεται στην περιοχή έρευνας (σχήμα 7.42).

**Δεσμευμένες μορφές καδμίου στα οξείδια Fe & Mn και τις οργανικές κι ανθρακικές ενώσεις:** Στις δεσμευμένες στα οργανικά και ανθρακικά τεμαχίδια και τα οξείδια Fe και Mn μορφές, επικρατούν οι κλάσεις από 0,6 έως 0,7 ppm κι από 0,7 έως 0,8 ppm (σχήμα 7.44-Δ) με συχνότητες εμφάνισης 51% και 26% αντίστοιχα. Η διασπορά των τιμών στις συγκεντρώσεις αυτές είναι σχετικά μικρή (s.d.=0,49). Οι συγκεντρώσεις κυμαίνονται μεταξύ 0,56 και 3,81 ppm, με μέσο όρο 0,76ppm. Τα δεσμευμένα στις ανθρακικές κι οργανικές ενώσεις και τα οξείδια Fe και Mn παρουσιάζουν την υψηλότερη τιμή τους στην περιοχή της Βραυρώνας (σχήμα 7.43-Δ) που επηρεάζεται από τα οργανικά απόβλητα κτηνοτροφικής μονάδας, όπου συσσωρεύονται, εκτός του Cd και τα δεσμευμένα μέταλλα Zn, Pb και Fe καθώς κι ο φώσφορος P κι η οργανική ουσία. Οι υψηλές τιμές αποδίδονται στην ιδιότητα της οργανικής ουσίας να προσροφά τα βαρέα μέταλλα και τον φώσφορο (Adriano, 1986).

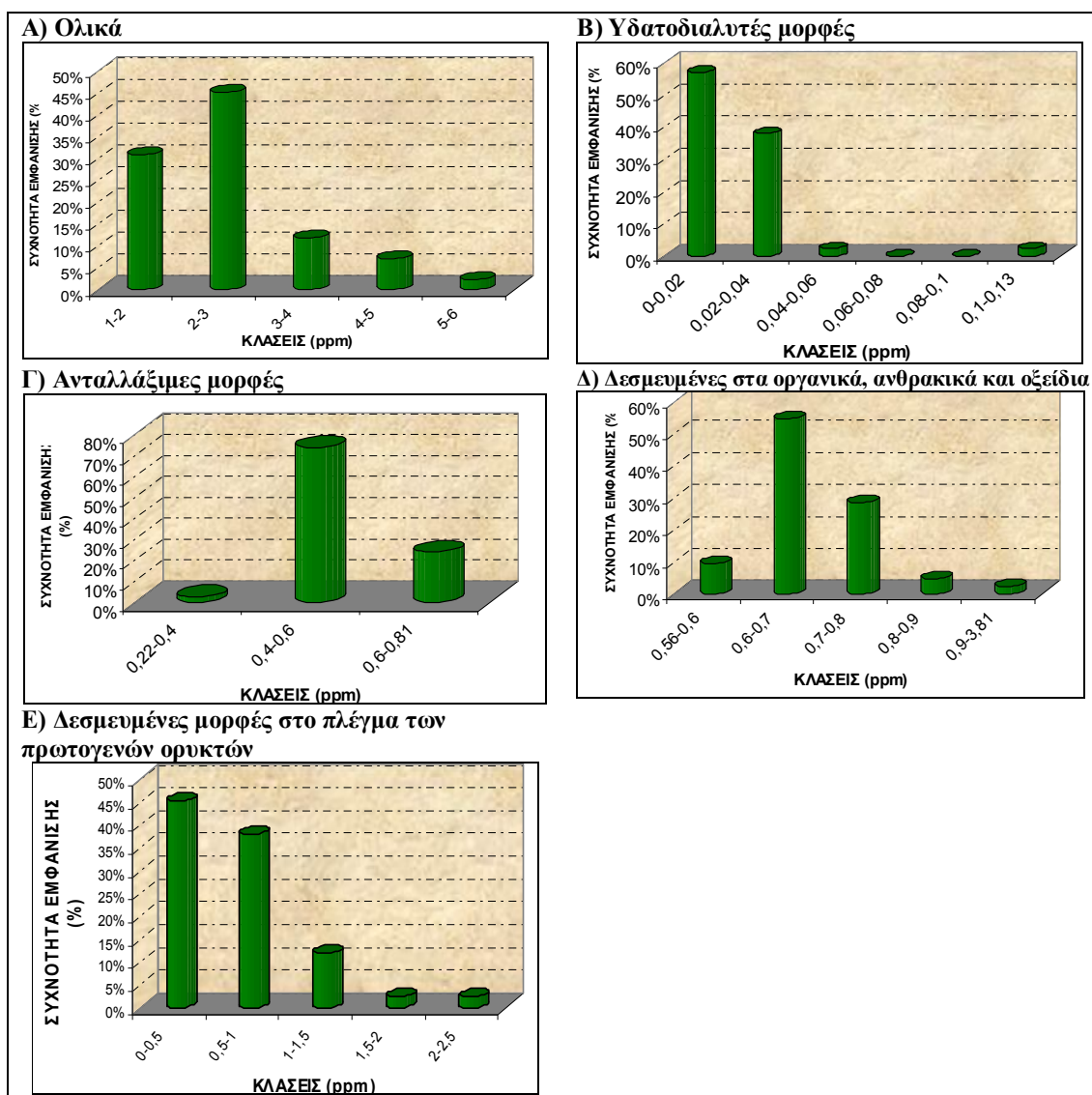
**Δεσμευμένες μορφές καδμίου στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών:** Οι συγκεντρώσεις Cd που βρίσκονται συνδεδεμένες στο πλέγμα των ορυκτών του μητρικού πετρώματος κυμαίνονται από 0,07 έως 2,27 ppm και μέσο όρο 0,63 ppm. Η κλάση με τη υψηλότερη συχνότητα εμφάνισης είναι η πρώτη, από 0-0,55 ppm (σχήμα 7.44-E). Ο μικρός συντελεστής διακύμανσης (s.d.=0,45) δείχνει μικρή διασπορά των τιμών.

Οι συγκεντρώσεις αυτές έχουν αυξητική τάση προς το νοτιοανατολικό τμήμα, παρουσιάζοντας ομοιότητα με τη χωρική κατανομή των αντίστοιχων μορφών ψευδαργύρου. Οι αυξημένες τιμές αποδίδονται κυρίως στη παρουσία των σχιστολίθων και των διαφόρων οξειδίων και μικτών θειούχων που εμπεριέχονται στους ρωγματομένους κρητιδικούς ασβεστόλιθους της περιοχής.



**Σχήμα 7.43:** Χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων του Cd (ppm) στα εδάφη της περιοχής έρευνας (Α: Ολικές Β: υδατοδιαλυτές, Γ: ανταλλάξιμες Δ: δεσμευμένες μορφές στα οργανικά και ανθρακικά τεμαχίδια του εδάφους και τα οξειδία Fe & Mn, και Ε: Δεσμευμένες μορφές στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών).





**Σχήμα 7.44:** Ιστογράμματα συχνοτήτων των συγκεντρώσεων του Cd (ppm) των εδαφών της περιοχής έρευνας (A: Ολικές B: υδατοδιαλυτές, Γ: ανταλλάξιμες Δ: δεσμευμένες μορφές στα οργανικά και ανθρακικά τεμαχίδια του εδάφους και τα οξείδια Fe & Mn, και E: Δεσμευμένες μορφές στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών).

### 7.9.6 Μόλυβδος Pb

Ο Pb στη φύση υπάρχει ως  $Pb^{2+}$  και  $Pb^{4+}$  και υφίσταται υδρόλυση σε χαμηλές τιμές pH. Η δισθενής μορφή, είναι αυτή που προσλαμβάνεται από τα φυτά (Alloway, 1995). Το  $PbOH^+$  είναι κυρίαρχο σε pH 6-10 (Adriano, 1986). Η ολική συγκέντρωση του Pb σε μη ρυπασμένα εδάφη είναι συνήθως μικρότερη των 40mg/kg (Alloway, 1995). Η συγκέντρωση του Pb είναι υψηλή στο εδαφικό διάλυμα, όταν η περιεκτικότητα των εδαφών σε άργιλο και οργανική ουσία είναι χαμηλή. Σε τέτοια εδάφη η προσρόφηση του Pb από τα φυτά είναι μεγάλη (Adriano, 1986). Κάποια φυτά όπως το καλαμπόκι κι ο ηλιάνθος απορροφούν και συσσωρεύουν μεγάλες ποσότητες του συγκεκριμένου μετάλλου (Greager, 1999). Η πρόσληψη Pb από τα φυτά εξαρτάται από διάφορες εδαφικές παραμέτρους όπως η περιεκτικότητα σε οργανική ουσία και το είδος αυτής, η



ΙΑΚ, το pH καθώς κι οι εκκρίσεις κι η επιφάνεια των ριζών (Sillanpää and Jansson, 1992).

Έχει παρατηρηθεί ότι δείγματα εδάφους και φυτών που συλλέγονται κοντά σε δρόμους, περιέχουν ασυνήθιστα υψηλή ποσότητα Pb. Η ρύπανση του περιβάλλοντος γύρω από τους δρόμους οφείλεται, παγκοσμίως, στη χρήση βενζίνης που περιέχει Pb. Τα σταγονίδια του Pb που εκλύονται στην ατμόσφαιρα από τις εξατμίσεις των αυτοκινήτων ή από τις βιομηχανίες μπορούν να μεταφερθούν σε μεγάλες αποστάσεις. Παρατηρείται συσσώρευση Pb στο έδαφος γύρω από τα εργοστάσια. Σε έρευνες που έγιναν γύρω από χυτήρια, η μέγιστη συγκέντρωση Pb λάμβανε χώρα κοντά στις καμινάδες (Alloway, 1995).

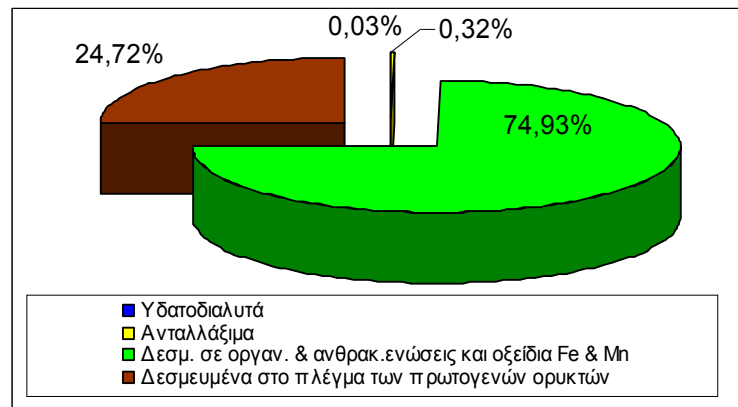
Ο Pb φαίνεται να συγκεντρώνεται εκ φύσεως στους επιφανειακούς ορίζοντες του εδάφους. Είναι αξιοσημείωτος ο έντονος εμπλουτισμός των εδαφών που βρίσκονται σε πυριτικά πετρώματα (Alloway, 1995). Ο Pb δεν διαφεύγει εύκολα από το εδαφικό προφίλ μέσω της στράγγισης. Τα περισσότερα βαρέα μέταλλα, συμπεριλαμβανομένου και του Pb, παραμένουν σε αδιάλυτη μορφή στα επιφανειακά στρώματα μετά από εφαρμογή αποβλήτων. Έχει αποδειχθεί ότι τα εδάφη έχουν σχετικά μεγάλες ικανότητες να ακινητοποιούν τον Pb. Ο χρόνος παραμονής του στο έδαφος είναι πολύ μεγάλος, ώστε να θεωρείται ως μόνιμος στο έδαφος. Ευτυχώς, η διαλυτότητα, η κινητικότητα, όπως και η βιοδιαθεσιμότητά του είναι χαμηλές. Περιοχές, όπου οι συγκεντρώσεις Pb είναι υψηλές, παρατηρούνται κοντά σε βιομηχανίες που επεξεργάζονται Pb και σε πυκνοκατοικημένες περιοχές (Alloway, 1995).

Έρευνες σε εδάφη άλλων περιοχών της Ελλάδας παρουσιάζουν ολικές συγκεντρώσεις μολύβδου που κυμαίνονται μεταξύ 3-47,3 mg/kg στην Θεσσαλία (Mitsios et al., 2005), 19,6 ppm σε αρχαιολογικούς χώρους της Ελλάδας (Bentliff et al., 1990) και 3,9ppm στην Κοζάνη (Stalikas et al., 1997).

**Ολικές συγκεντρώσεις μολύβδου:** Οι ολικές συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων μολύβδου στα εδάφη κυμαίνονται από 6,6 έως 81,8ppm με μέσο όρο 25,03ppm. Η κλάση με την υψηλότερη συχνότητα εμφάνισης είναι η πρώτη (5-25ppm- σχήμα 7.47-A). Από το διάγραμμα κατανομής των μορφών που απαντάται ο Pb στα εδάφη της περιοχής έρευνας (σχήμα 7.45) διαπιστώνεται μόλις το 24,7% των ολικών συγκεντρώσεων να έχει γεωγενή προέλευση, ενώ το μεγαλύτερο ποσοστό του Pb βρίσκεται με τις δεσμευμένες μορφές στις οργανικές κι ανθρακικές ενώσεις. Προφανώς η έντονη ανθρωπογενής δραστηριότητα παραγωγής μολυβδούχων καυσαερίων, η βιομηχανική δραστηριότητα κι η εντατική εφαρμογή λιπασμάτων (Lagerwerf 1971, Matthess 1973, Kabata-Pendias and Pendias 1992, Pacyna 1995, Μήτσιος 2001, Siegel 2002, Kabata-Pendias & Mukherjee 2007, [www.lenntech.com/heavy-metals.htm](http://www.lenntech.com/heavy-metals.htm)) είναι οι κύριοι παράγοντες εμφάνισης υψηλών συγκεντρώσεων μολύβδου στα εδάφη της περιοχής έρευνας.

Σε όλη την περιοχή έρευνας η χωρική κατανομή του μολύβδου (σχήμα 7.46-A) είναι ομαλή χωρίς έντονες διαφοροποιήσεις. Έντονη ανωμαλία παρατηρείται στις εκβολές του Ερασίνου.

**Υδατοδιαλυτές μορφές μολύβδου:** Στις υδατοδιαλυτές (0,01 ppm κατά μέσο όρο) μορφές τα εύρη τιμών είναι μικρά κι επικρατεί η κλάση με τις μηδενικές τιμές (σχήμα 7.47-B). Ο συντελεστής διακύμανσης επιβεβαιώνει τη μικρή διασπορά των τιμών (s.d. 0,04). Η χωρική κατανομή των υδατοδιαλυτών μορφών (σχήμα 7.46-B) παρουσιάζει έντονη αυξητική τάση προ το νοτιοανατολικό τμήμα, στην περιοχή του Μαρκόπουλου.



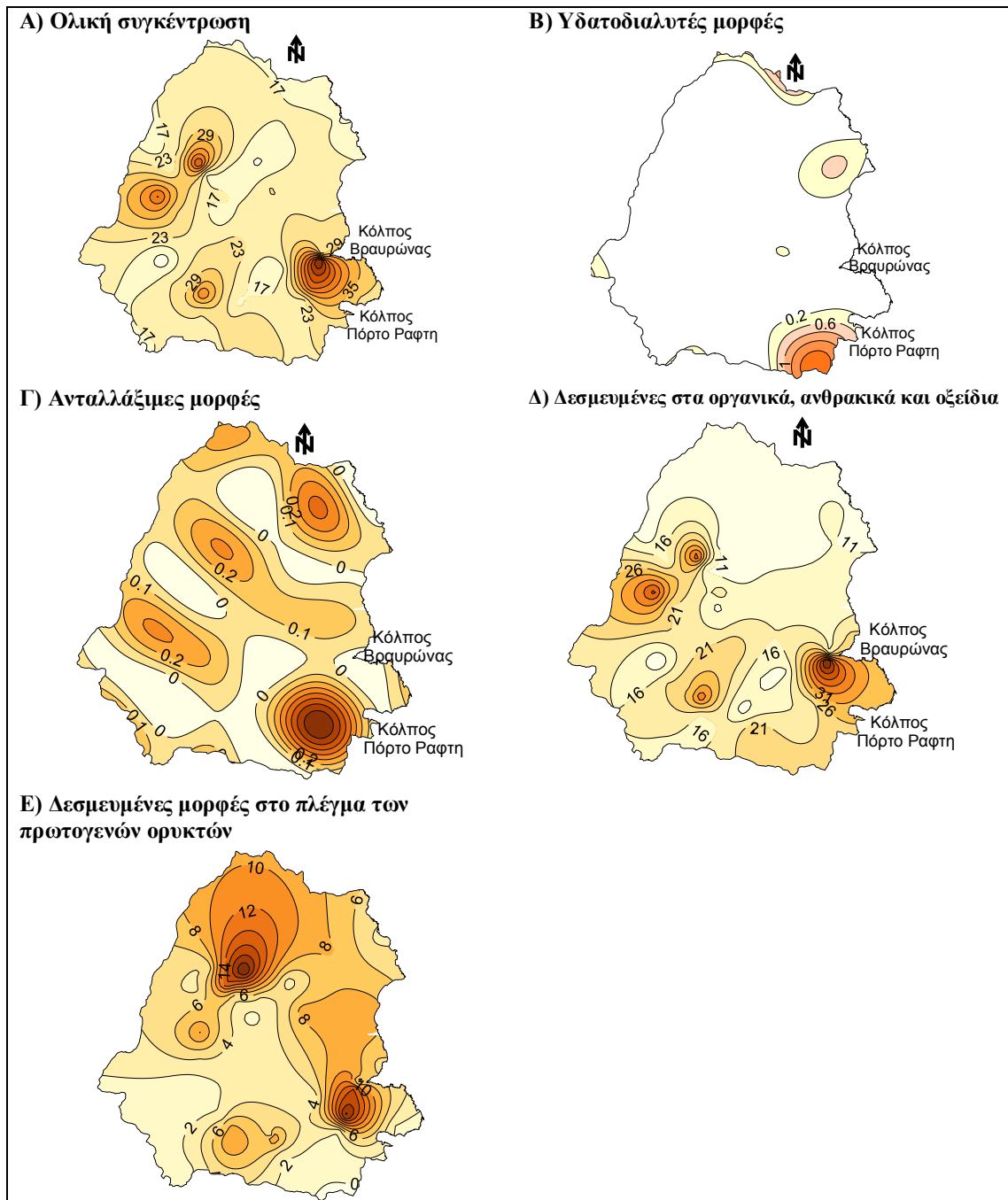
**Σχήμα 7.45:** Διάγραμμα ποσοτών συμμετοχής των διαφόρων φάσεων Pb επί των ολικών στα εδάφη της περιοχής έρευνας

**Ανταλλάξιμες μορφές μολύβδου:** Οι ανταλλάξιμες μορφές παρουσιάζουν συγκεντρώσεις 0,08 ppm κατά μέσο όρο, με μικρά εύρη τιμών. Όπως και στις υδατοδιαλυτές μορφές επικρατεί η κλάση με τις μηδενικές τιμές (σχήμα 7.47-Γ). Η διασπορά των τιμών είναι μικρή (s.d.=0,21). Η χωρική κατανομή παρουσιάζει αυξητική τάση προς την περιοχή του Μαρκοπούλου (σχήμα 7.46-Γ).

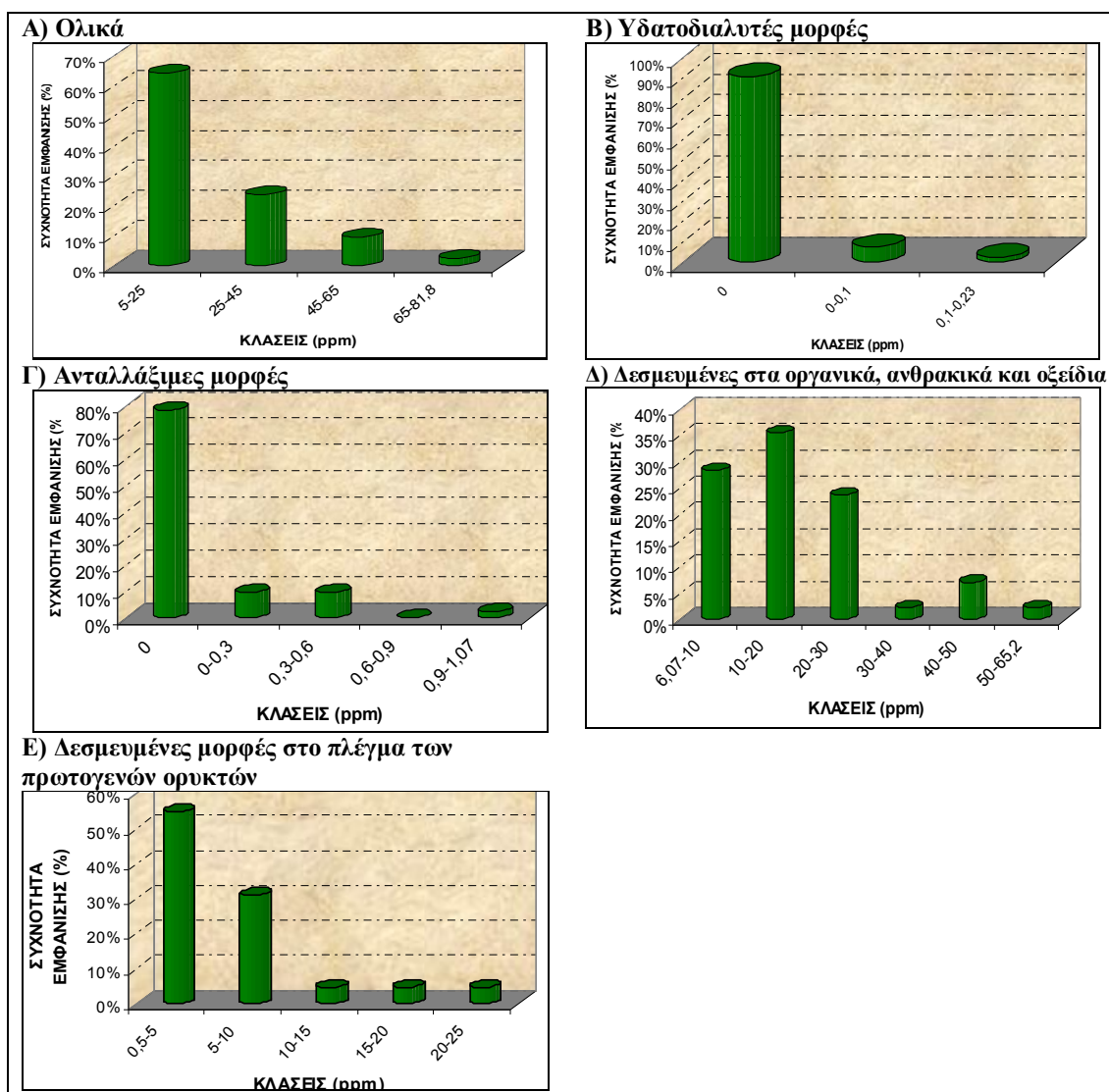
**Δεσμευμένες μορφές μολύβδου στα οξείδια Fe & Mn και τις οργανικές κι ανθρακικές ενώσεις:** Η παρουσία του Pb με υψηλές συγκεντρώσεις στη μορφή των δεσμευμένων στις ανθρακικές κι οργανικές ενώσεις και τα οξείδια Fe και Mn, με μέσο όρο τα 18,76ppm και μέγιστη τιμή τα 65,2 ppm, οφείλεται στην ικανότητα κυρίως της οργανικής ουσίας (Alumaa et al., 2002) και λιγότερο των ανθρακικών τεμαχιδίων (Kabata-Pendias & Mukherjee, 2007) να δεσμεύουν τον μόλυβδο. Ο υψηλός συντελεστής διακύμανσης (s.d.=54,27) μαρτυρά τη μεγάλη διασπορά των τιμών. Οι τιμές αποδίδονται κυρίως στη δέσμευση του Pb από τα οξείδια του Fe και Mn, στα οποία οι συγκεντρώσεις Pb μπορεί να φτάνουν τα 20.000 mg/kg (Kabata-Pendias & Sadurski, 2004). Ο Pb μπορεί να βρίσκεται στα οξείδια του σιδήρου σε ποσοστά από 1 έως 54% (Karczewska, 2004).

Γενικά, ο Pb δεσμεύεται εύκολα από την οργανική ουσία γι αυτό συσσωρεύεται κυρίως στην επιφάνεια (Alumaa et al., 2002). Επίσης μπορεί να συσσωρεύεται στα ανθρακικά και φωσφορικά τεμαχίδια (Kabata-Pendias & Mukherjee, 2007). Ο τετρααιθυλικός και τετραμεθυλικός μόλυβδος μετατρέπονται σε δυσκόλως υδατοδιαλυτά σύμπλοκα του Pb στο έδαφος, που ωστόσο δεν εκπλένονται σημαντικά μέσω του εδαφικού προφίλ (Ou et al., 1995). Η χωρική κατανομή των δεσμευμένων μορφών μολύβδου στις ανθρακικές κι οργανικές ενώσεις και τα οξείδια Fe και Mn παρουσιάζει αυξητική τάση προς την εκβολή του Ερασίνου και την πηγή της Βραυρώνας (σχήμα 7.46-Δ).

**Δεσμευμένες μορφές μολύβδου στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών:** Οι συγκεντρώσεις Pb που βρίσκονται συνδεδεμένες στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών, κυμαίνονται από 0,53 έως 22,65 ppm και μέσο όρο 6,19 ppm. Η κλάση με τη μέγιστη συχνότητα εμφάνισης είναι η πρώτη, από 0,5-5ppm (σχήμα 7.47-E). Η χωρική κατανομή αυτών των συγκεντρώσεων (σχήμα 7.46-E) δείχνει αυξητική τάση προς το νοτιοανατολικό και βόρειο κεντρικό τμήμα κι αποδίδονται κυρίως σε γεωγενείς παράγοντες καθώς στην περιοχή αναπτύσσονται οι μεταμορφωμένοι σχηματισμοί, εντός των οποίων συνυπάρχουν μικτές θειούχες ενώσεις και τα νεογενή ιζήματα, τα οποία χαρακτηρίζονται από την παρουσία οργανικής ύλης. Ο μόλυβδος παρατηρείται σε συγκεντρώσεις 13,5 mg/kg στους ψαμίτες, 80 mg/kg, στους αργίλους, 16,5mg/kg, στα ανθρακικά πετρώματα και 0,9 mg/kg στους εβαπορίτες (Matthes, 1973).



**Σχήμα 7.46:** Χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων του Pb (ppm) στα εδάφη της περιοχής έρευνας (A: Ολικές B: υδατοδιαλυτές, Γ: ανταλλάξιμες Δ: δεσμευμένες μορφές στα οργανικά και ανθρακικά τεμαχίδια του εδάφους και τα οξειδία Fe & Mn, και E: Δεσμευμένες μορφές στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών).



**Σχήμα 7.47:** Ιστογράμματα συχνοτήτων των συγκεντρώσεων του Pb (ppm) των εδαφών της περιοχής έρευνας (A: Ολικές B: υδατοδιαλυτές, Γ: ανταλλάξιμες Δ: δεσμευμένες μορφές στα οργανικά και ανθρακικά τεμαχίδια του εδάφους και τα οξειδία Fe & Mn, και E: Δεσμευμένες μορφές στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών).

### 7.9.7 Νικέλιο (Ni)

Το νικέλιο συνδέεται άμεσα με τον Fe (Fairbridge, 1972) και συχνά δημιουργεί με αυτόν και το Co σουλφίδια. Απαντάται στην φύση στα ορυκτά πεντλαντίτη  $(NiFe)_9S_8$  και μιλλερίτη NiS. Παρουσιάζει σιδηρόφιλο και ασβεστόφιλο χαρακτήρα (Kabata-Pendias & Mukherjee, 2007) και στενή σχέση με την ΙΑΚ και την περιεκτικότητα της αργίλου (Senwo and Tazisong, 2004). Η συμπεριφορά κι η βιοδιαθεσιμότητα του Ni στα φυτά επηρεάζονται από φυσικοχημικές ιδιότητες όπως η άργιλος, η περιεκτικότητα σε οργανική ουσία και το pH (Massoura et al., 2005). Με την επίδραση της βροχής το Ni εκπλένεται μαζί με τα οξειδία του σιδήρου και του μαγγανίου.

**Πίνακας 7.11:** Συγκεντρώσεις Ni από την εφαρμογή προσθετικών βελτιωτικών εδάφους σε mg/kg (Alloway, 1995).

ΛΙΠΑΣΜΑΤΑ	Ni	ΚΟΠΡΙΑ ΖΩΩΝ	Ni
Αζωτούχα	tr-80	Βοειδών	-
Φωσφορούχα	tr-300	πουλερικών	-
Καλιούχα	tr-80	χοιρινών	-
Μικτά	tr-800	φάρμας	17
Ασβέστης	tr-130	αγελάδων	29

Η συγκέντρωση Ni στο έδαφος εξαρτάται κυρίως από την περιεκτικότητά του στο μητρικό πέτρωμα. Τα υπερβασικά πετρώματα, όπως οι περιδοτίτες, οι δουνίτες και οι πυροξενίτες έχουν τη μεγαλύτερη συγκέντρωση Ni (270-3.600 mg/ kg). Ακολουθούν τα βασικά πετρώματα, όπως οι γάββροι και οι βασάλτες (45-410 mg/kg) και τα όξινα και ενδιάμεσα πυριγενή όπως οι γρανίτες (2-20 mg/kg). Τα πυριγενή πετρώματα με μεγάλη περιεκτικότητα σε σιδηρομαγνησιούχα και θειούχα ορυκτά (πυρόξενους, ολιβίνες, βιοτίτες) είναι επίσης πλούσια σε Ni (Kabata-Pendias and Pendias 1992, Alloway 1995).

Η επιβάρυνση των γεωργικών εδαφών με Ni από την προσθήκη λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων δεν είναι ιδιαίτερα σημαντική (πίνακας 7.11). Σε αντίθεση με το Cd τα φωσφορούχα λιπάσματα περιέχουν μικρές μόνο ποσότητες Ni. Επίσης μικρές μόνο ποσότητες περιέχει και η ζωική κοπριά (Alloway, 1995). Τα φωσφορούχα λιπάσματα περιέχουν στη σύστασή τους Ni (Boyle and Robinson 1988, Alloway 1995).

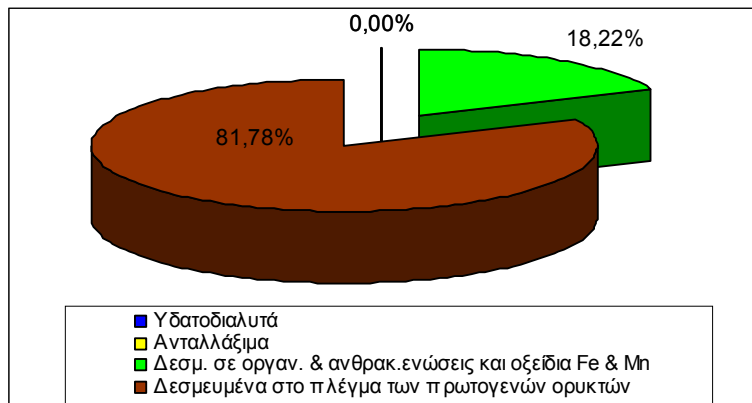
Σε εδαφολογικές έρευνες σε διάφορες περιοχές της Ελλάδας οι ολικές συγκεντρώσεις νικελίου που βρέθηκαν είναι 16,1ppm στην Κοζάνη (Stalikas et al., 1997), 250- 900ppm στην Αυλώνα (Atsarou and Economidou-Eliopoulos, 2012) και 217,4ppm κατά μέσο όρο σε αρχαιολογικούς χώρους της Ελλάδας (Bentliff et al., 1990).

**Ολικές συγκεντρώσεις νικελίου:** Οι ολικές συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων νικελίου στα εδάφη κυμαίνονται από 0,05 έως 79,05ppm με μέσο όρο 12,3ppm. Η πλειοψηφία των ολικών συγκεντρώσεων δεν ξεπερνά τα 10ppm (σχήμα 7.50-A).

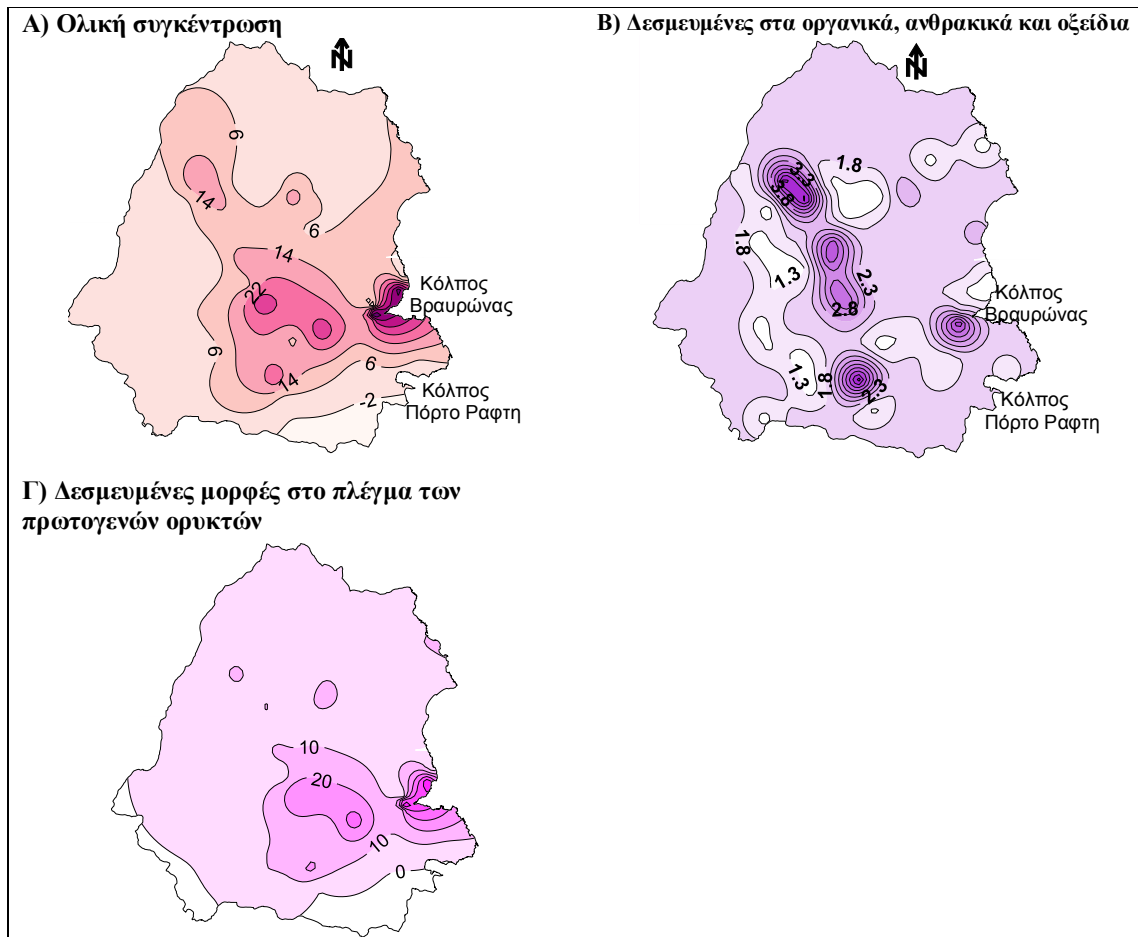
Η χωρική κατανομή (σχήμα 7.49-A) παρουσιάζει αυξητική τάση κατά μήκος της κοίτης του Ερασίνου, με κορύφωση στην εκβολή. Η μεγάλη υπεροχή των δεσμευμένων μορφών στο κρυσταλλικό πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών (σχήμα 7.48) μας οδηγεί στο συμπέρασμα πως πρόκειται για εξαλλοίωση των οφιολίθων και μεταφορά κι αναπόθεσή τους στα ιζήματα του ποταμού.

Στα αμμοπηλώδη εδάφη οι μορφές Ni που βρίσκονται συνδεδεμένες στο πλέγμα των ορυκτών απαντώνται σε ποσοστό μεγαλύτερο του 50% (Kabata-Pendias & Pendias 2001, Zherg et al. 2004). Από το διάγραμμα κατανομής των μορφών που απαντάται το Ni στα εδάφη της περιοχής έρευνας (σχήμα 7.48) διαπιστώνεται ότι αυτό το ποσοστό ξεπερνά κατά πολύ το 50% φθάνοντας το 81,78%. Οι δεσμευμένες μορφές Ni στις οργανικές κι ανθρακικές ενώσεις και τα οξείδια Fe & Mn αποτελούν το υπόλοιπο 18,22%. Συνεπώς η ύπαρξη οφιολίθων στο γεωλογικό υπόβαθρο της περιοχής κι η αποσάθρωσή τους είναι οι σημαντικότεροι παράγοντες ύπαρξης υψηλών συγκεντρώσεων νικελίου στα εδάφη της περιοχής έρευνας.

Στα εδαφικά δείγματα της περιοχής έρευνας οι συγκεντρώσεις του νικελίου στις υδατοδιαλυτές κι ανταλλάξιμες μορφές βρίσκονται σε πολύ χαμηλά επίπεδα (<0,001 ppm), και ήταν αδύνατο να προσδιορισθούν με το διαθέσιμο όργανο.



Σχήμα 7.48: Διάγραμμα ποσοστών συμμετοχής των διαφόρων φάσεων Ni επί των ολικών στα εδάφη της περιοχής έρευνας

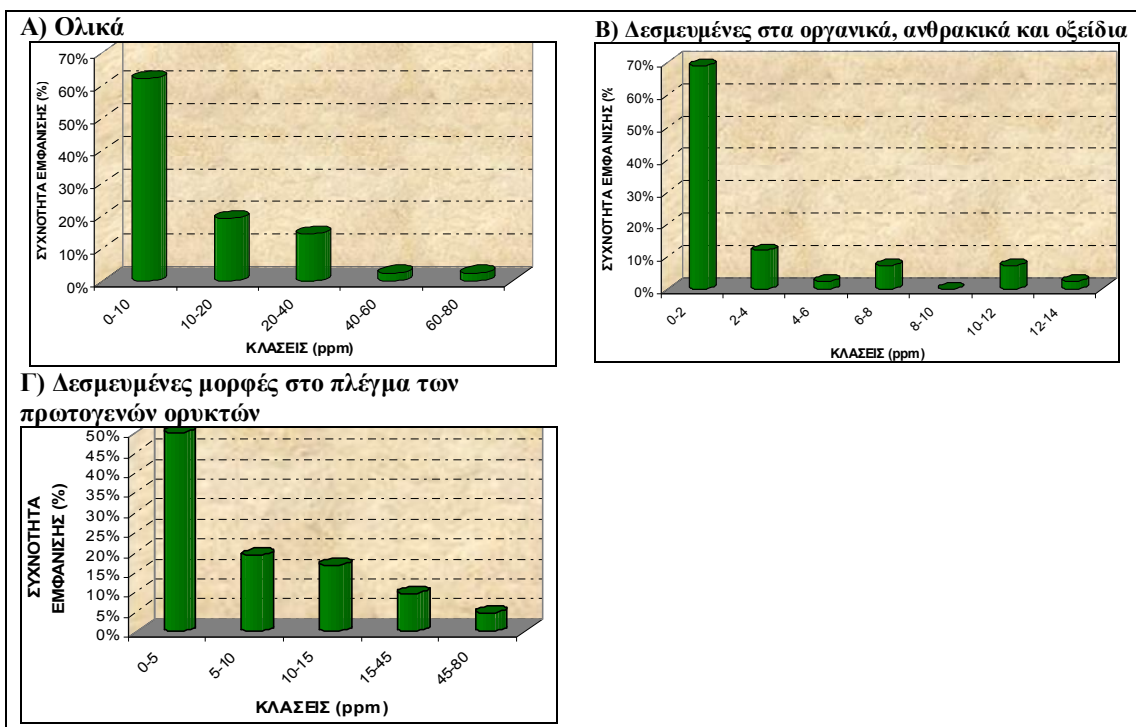


Σχήμα 7.49: Χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων του Ni (ppm) στα εδάφη της περιοχής έρευνας (A: Ολικές B: υδατοδιαλυτές, Γ: ανταλλάξιμες Δ: δεσμευμένες μορφές στα οργανικά και ανθρακικά τεμαχίδια του εδάφους και τα οξείδια Fe & Mn, και E: Δεσμευμένες μορφές στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών).



**Δεσμευμένες μορφές νικελίου στα οξείδια Fe & Mn και τις οργανικές κι ανθρακικές ενώσεις:** Οι δεσμευμένες μορφές στις ανθρακικές κι οργανικές ενώσεις και τα οξείδια Fe & Mn παρουσιάζουν σχετικά χαμηλές συγκεντρώσεις με μέσο όρο τα 2,24ppm και μέγιστη τιμή 13,44ppm. Η κατηγοριοποίηση των τιμών αυτών σε κλάσεις αποτυπώνεται στο σχήμα 7.50-B παρουσιάζοντας περίπου το 70% των συγκεντρώσεων μεταξύ των τιμών 0 και 2ppm. Ο συντελεστής διακύμανσης είναι σχετικά χαμηλός (3,6) συγκριτικά με τους αυτούς των άλλων αντίστοιχων μορφών Ni. Η χωρική κατανομή (σχήμα 7.49-B) δείχνει επικράτηση στην περιοχή του Κορωπίου, των Γλυκών Νερών, στον κάμπο των Μεσογείων και το δέλτα του Ερασίνου. Προφανώς οι τιμές αποδίδονται στη μεγάλη ικανότητα δέσμευσης του Ni από την οργανική ουσία ιδιαίτερα στους επιφανειακούς ορίζοντες (Kabata-Pendias & Mukherjee, 2007).

**Δεσμευμένες μορφές νικελίου στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών:** Οι συνδεδεμένες στο πλέγμα των ορυκτών μορφές Ni κυμαίνονται από 0,05 έως 77,37ppm και μέσο όρο 10,07ppm. Η κλάση με τη μέγιστη συχνότητα εμφάνισης είναι η πρώτη, από 0-5ppm (σχήμα 7.50-Γ). Η χωρική κατανομή αυτών των συγκεντρώσεων (σχήμα 7.49-Γ) δείχνει αυξητική τάση προς το δέλτα του Ερασίνου. Το Ni οφείλεται σε αποσάθρωση των οφιολιθικών πετρωμάτων του γεωλογικού υποβάθρου της περιοχής καθώς και σε μεταφορά αυτού κι εναπόθεση στα ιζήματα του ποταμού Ερασίνου (Βруνιώτης & Παπαδόπουλος, 2004). Πιθανότατα εντοπίστηκαν και συγκεντρώσεις νικελίου δεσμευμένες στα οξείδια του μαγγανίου (Evans, 1964). Το Νικέλιο απαντάται στους εβαπορίτες με μόνο 1,4mg/kg (Matthes, 1973).



**Σχήμα 7.50:** Ιστογράμματα συχνοτήτων των συγκεντρώσεων του Ni (ppm) των εδαφών της περιοχής έρευνας (Α: Ολικές Β: υδατοδιαλυτές, Γ: ανταλλάξιμες Δ: δεσμευμένες μορφές στα οργανικά και ανθρακικά τεμαχίδια του εδάφους και τα οξείδια Fe & Mn, και Ε: Δεσμευμένες μορφές στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών).



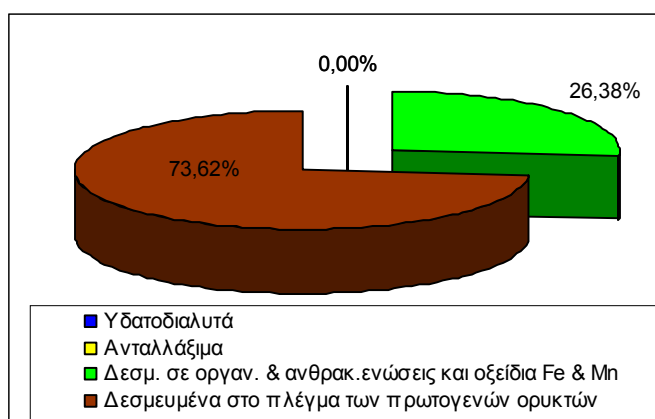
### 7.9.8 Κοβάλτιο (Co)

Το Co απαντάται στο έδαφος τόσο με την δισθενή όσο και με την τρισθενή μορφή του (Fellows et al., 1998). Το  $\text{Co}(\text{OH})_2$  διαλύεται εύκολα όπως η ένωση  $\text{Fe}(\text{OH})_2$ . Το Co προσροφάται από τα κolloειδή υδροξείδια του Fe και Mn και γι' αυτό η συγκέντρωση του στο υπόγειο νερό εμφανίζεται μόνον σε ίχνη. Σε μεταλλοφόρες περιοχές εμφανίζονται τιμές μέχρι και 20  $\mu\text{g}/\text{l}$  (Tisdale and Nelson, 1975). Ο γεωχημικός κύκλος του Co μοιάζει με τον αντίστοιχο του σιδήρου και του μαγγανίου και πιθανόν να αλληλοσχετίζονται. Το Co φανερώνει σιδηροφιλικό χαρακτήρα και πιο συχνά δημιουργεί ορυκτά με το S όπως ο κοβαλτίτης  $\text{CoAsS}$ , ο λινεΐτης  $\text{Co}_3\text{S}_4$ , και το αρσενοσουλφίδιο  $\text{CoAsS}$  (Kabata-Pendias & Mukherjee, 2007). Το «speciation» του κοβαλτίου εξαρτάται από το δυναμικό οξειδοαναγωγής τους εδάφους (Nasseem and Abdalla, 2003).

Η περιεκτικότητα των εδαφών σε κοβάλτιο ποικίλει από 0,05-300  $\text{mg}/\text{kg}$  με τη μέση περιεκτικότητα να κυμαίνεται στα 10-15  $\text{mg}/\text{kg}$ . Η περιεκτικότητα ποικίλει και κυρίως εξαρτάται από το μητρικό υλικό από το οποίο προέρχονται. Επίσης υπάρχουν διαφορές ανάλογα με το βάθος του εδαφικού προφίλ και τον τύπο του εδάφους (Alloway, 1995). Η περιεκτικότητα του κοβαλτίου είναι μεγαλύτερη στα επιφανειακά εδάφη των ερημικών και ημιορημικών περιοχών (Nasseem and Abdalla, 2003). Κατά την έκπλυση, το  $\text{Co}^{3+}$  είναι ασταθές στην υγρή φάση και κατακρημνίζεται σαν σουλφίδιο (Tani et al., 2003).

**Ολικές συγκεντρώσεις κοβαλτίου:** Οι ολικές συγκεντρώσεις κοβαλτίου παρουσιάζουν χαμηλές τιμές που κυμαίνονται από 0,03 έως 8,08ppm με μέσο όρο 2,35ppm. Οι περισσότερες τιμές (45%) εμφανίζονται στην πρώτη κλάση, από 0,03-2ppm (σχήμα 7.53-A). Από το διάγραμμα συμμετοχής των διαφόρων φάσεων Co επί των ολικών στα εδάφη της περιοχής έρευνας (σχήμα 7.51) διαπιστώνεται ότι το μεγαλύτερο ποσοστό Co (73,62%) αποδίδεται σε γεωγενή προέλευση. Οι δεσμευμένες μορφές Co στις οργανικές κι ανθρακικές ενώσεις και τα οξείδια Fe & Mn αποτελούν το υπόλοιπο 26,38%. Η χωρική κατανομή των ολικών συγκεντρώσεων κοβαλτίου (σχήμα 7.52-A) παρουσιάζει αυξητική τάση προς τα καλλιεργούμενα τμήματα της κεντρικής περιοχής έρευνας και το βόρειο τμήμα όπου απαντώνται οι σχιστόλιθοι του όρους Πεντέλη.

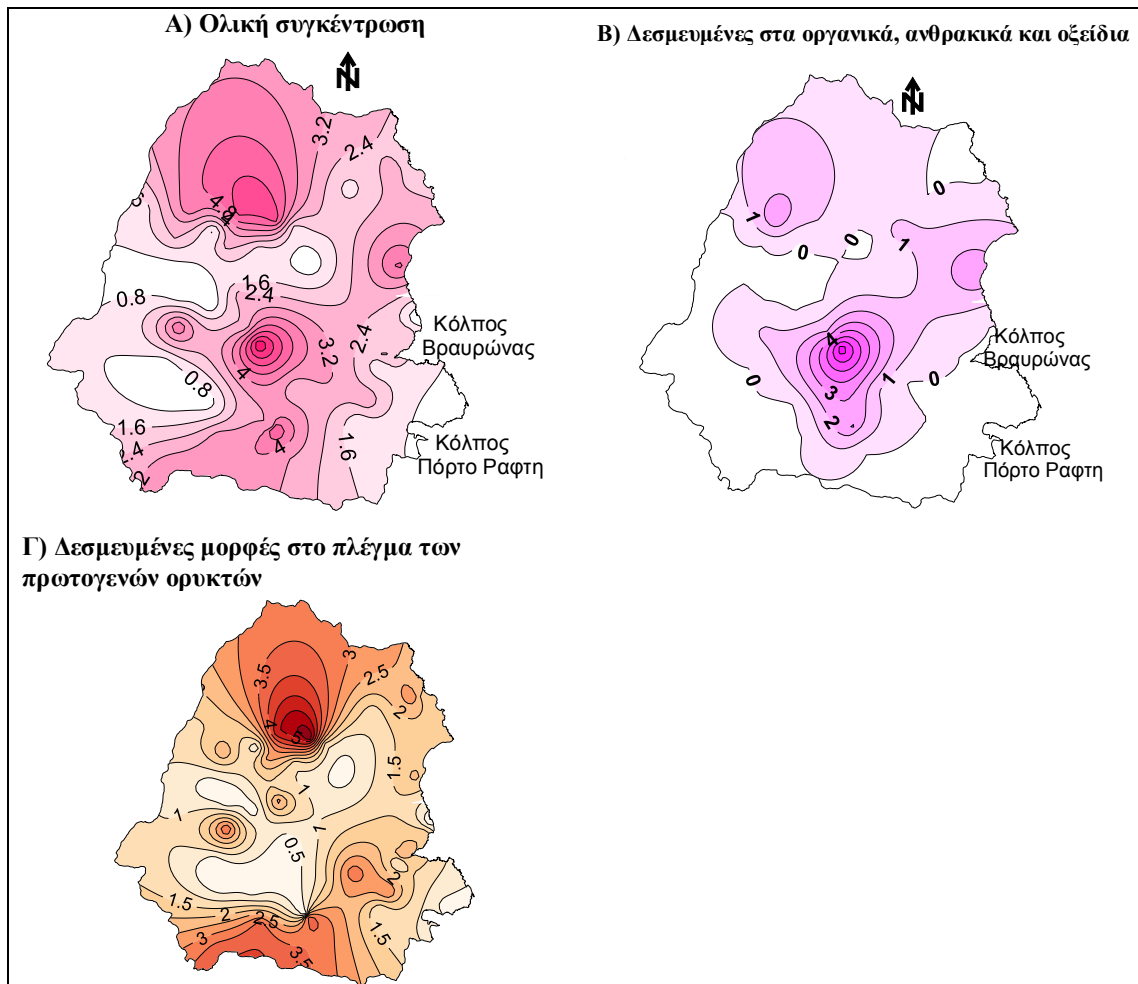
Το κοβάλτιο, όπως και το νικέλιο δεν παρατηρήθηκε στις υδατοδιαλυτές κι ανταλλάξιμες μορφές.



Σχήμα 7.51: Διάγραμμα ποσοτών συμμετοχής των διαφόρων φάσεων Co επί των ολικών στα εδάφη της περιοχής έρευνας

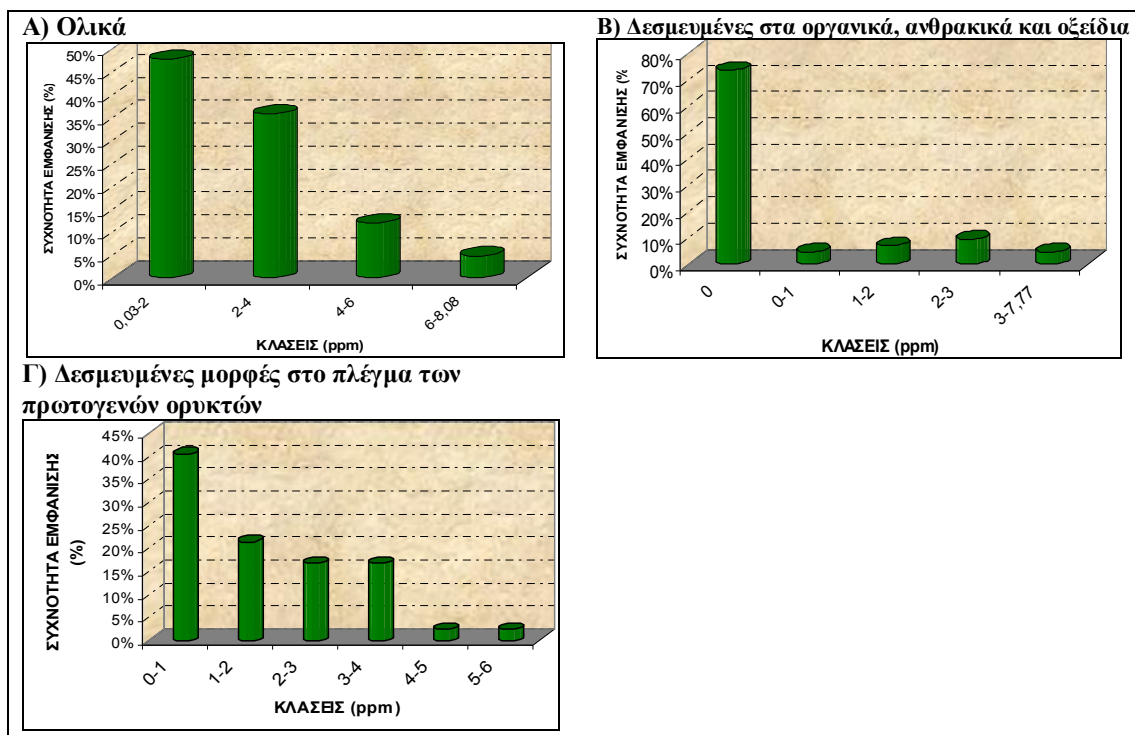
**Δεσμευμένες μορφές κοβαλτίου στα οξείδια Fe & Mn και τις οργανικές κι ανθρακικές ενώσεις:** Οι δεσμευμένες μορφές Co στις ανθρακικές κι οργανικές ενώσεις και τα οξείδια Fe & Mn παρουσιάζουν χαμηλότερες του Ni συγκεντρώσεις, με μέσο όρο τα 0,63ppm. Επικρατούν οι μηδενικές τιμές σε ποσοστό 70% (σχήμα 7.53-B). Ο συντελεστής διακύμανσης παρουσιάζει τη μικρότερη τιμή (1,45) μεταξύ των δεσμευμένων στις οργανικές κι ανθρακικές ενώσεις μορφές αντικατοπτρίζοντας τη μικρή διασπορά των τιμών γύρω απ' τον αριθμητικό μέσο. Οι υψηλές τιμές που παρατηρούνται στην κεντρική περιοχή του κάμπου των Μεσογείων (σχήμα 7.52-B) προφανώς αποδίδονται σε εφαρμογή λιπασμάτων (Kabata-Pendias and Pendias, 1992). Οι συγκεντρώσεις αποδίδονται σε οξείδια του σιδήρου και του μαγγανίου τα οποία και παίζουν σημαντικό ρόλο στην κατανομή του Co στο έδαφος (Kabata-Pendias & Mukherjee, 2007). Ιδιαίτερα, τα οξείδια του μαγγανίου έχουν την τάση να δεσμεύουν ισχυρά το κοβάλτιο όπως και το νικέλιο (Evans 1964 , Schnitzer and Kerndorff 1980, McKenzie 1989).

Η διαθεσιμότητα του Co στα εδάφη και κατά συνέπεια η απορρόφησή του από τα φυτά έχει παρατηρηθεί ότι μειώνεται με την αύξηση του χούμου (Tisdale and Nelson, 1975).



**Σχήμα 7.52:** Χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων του Co (ppm) στα εδάφη της περιοχής έρευνας (A: Ολικές B: υδατοδιαλυτές, Γ: ανταλλάξιμες Δ: δεσμευμένες μορφές στα οργανικά και ανθρακικά τεμαχίδια του εδάφους και τα οξείδια Fe & Mn, και E: Δεσμευμένες μορφές στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών ).

**Δεσμευμένες μορφές κοβαλτίου στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών:** Οι χαμηλές συγκεντρώσεις που εντοπίστηκαν στις συνδεδεμένες στο πλέγμα των ορυκτών μορφές Co αποδίδονται στις μειωμένες συγκεντρώσεις κοβαλτίου που παρατηρούνται στα αλκαλικά εδάφη συγκριτικά με τα πιο όξινα εδάφη (Kabata-Pendias and Pendias, 1992). Οι τιμές κυμαίνονται από 0,03 έως 6ppm και μέσο όρο 1,73ppm. Ο μικρός συντελεστής διακύμανσης δείχνει τη μικρή διασπορά των τιμών γύρω από τον αριθμητικό μέσο. Η κλάση με τη μέγιστη συχνότητα εμφάνισης είναι η πρώτη, από 0-1ppm (σχήμα 7.53-Γ). Η χωρική κατανομή (σχήμα 7.52-Γ) δείχνει αυξητική τάση προς το βόρειο και νότιο κεντρικό τμήμα.



**Σχήμα 7.53:** Ιστογράμματα συχνοτήτων των συγκεντρώσεων του Co (ppm) των εδαφών της περιοχής έρευνας (Α: Ολικές Β: υδατοδιαλυτές, Γ: ανταλλάξιμες Δ: δεσμευμένες μορφές στα οργανικά και ανθρακικά τεμαχίδια του εδάφους και τα οξείδια Fe & Mn, και Ε: Δεσμευμένες μορφές στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών).

### 7.9.9 Χρώμιο ολικό (Cr<sub>tot</sub>)

Το χρώμιο Cr παρατηρείται σε μικρές συγκεντρώσεις στα εδάφη. Ο παγκόσμιος μέσος όρος χρωμίου στα εδάφη είναι 54 mg/kg (Kabata-Pendias & Mukherjee, 2007) ενώ παρατηρείται σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις στα πηλώδη εδάφη απ' ότι στα αμμώδη (Kabata-Pendias and Pendias, 2001).

Οι ιοντικές ενώσεις του Cr που είναι διαλυτές και κινητές στο εδαφικό περιβάλλον είναι οι  $\text{CrOH}^{2+}$ ,  $\text{CrO}_4^-$ ,  $\text{HCrO}_4^-$ ,  $\text{HCrO}_3^-$ ,  $\text{Cr}(\text{OH})_4$  και  $\text{Cr}(\text{CO}_3)^{3-}$  (Kabata-Pendias & Sadurski, 2004). Ωστόσο τα ορυκτά του χρωμίου αντιστέκονται στην έκπλυση, όντας το Cr μη εύκολα διαθέσιμο στα φυτά και μη εύκολα μετακινήσιμο (Kabata-Pendias & Pendias 2001, Kabata-Pendias & Mukherjee, 2007). Το «speciation» του χρωμίου εξαρτάται από το pH και το Eh κάτω από οποιεσδήποτε περιβαλλοντικές συνθήκες (Kabata-Pendias & Mukherjee, 2007).

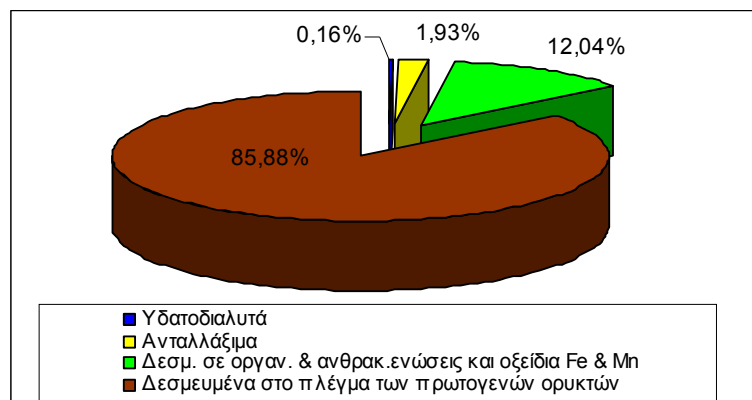
Το Cr παρουσιάζει μεγάλη ικανότητα δημιουργίας συμπλόκων (Bartlett, 1999). Ιδιαίτερα σημαντική και γρήγορη είναι η μετατροπή των φάσεων Cr με προσθήκη ρυπογόνων ουσιών, η οποία συνδέεται με τις διαδικασίες οξειδωσης του σιδήρου και μαγγανίου (Geelhoed et al., 2003).

Σε έρευνες που πραγματοποιήθηκαν σε άλλες περιοχές της Ελλάδας οι ολικές συγκεντρώσεις χρωμίου βρέθηκαν 130-520ppm στην Αυλώνα (Atsarou and Economou-Eliopoulos, 2012) και 3,9ppm στην Κοζάνη (Stalikas et al., 1997).

**Ολικές συγκεντρώσεις χρωμίου:** Οι ολικές συγκεντρώσεις του χρωμίου στα εδάφη της περιοχής έρευνας κυμαίνονται από 2,55 έως 102,95ppm με μέσο όρο 25,59ppm και θεωρούνται μη ρυπασμένα. Οι περισσότερες τιμές (22%) εμφανίζονται στη δεύτερη κλάση, από 10-20ppm (σχήμα 7.56-A).

Από το διάγραμμα συμμετοχής των διαφόρων φάσεων Cr επί των ολικών στα εδάφη της περιοχής έρευνας (σχήμα 7.54) επιβεβαιώνεται η θεωρία της Kabata-Pendias (1993) πως το χρώμιο παρατηρείται κυρίως στην φάση των δεσμευμένων στο πλέγμα των ορυκτών. Το ποσοστό αυτό (86%) συνάδει με το αντίστοιχο ποσοστό του νικελίου (82%) αποδεικνύοντας τη συνεισφορά των οφιολίθων και των προϊόντων εξαλλοίωσής τους στις συγκεντρώσεις των Ni και Cr στα εδάφη της περιοχής έρευνας.

Η χωρική κατανομή των ολικών συγκεντρώσεων χρωμίου παρουσιάζει ομοιότητα με την αντίστοιχη του νικελίου (σχήματα 7.55-A και 7.49-A αντίστοιχα) με αυξητική τάση κατά μήκος του ποταμού Ερασίνου. Οι συγκεντρώσεις αυτές αποδίδονται σε μεταφορά του αποσθρωμένου οφιολιθικού υλικού και στην εναπόθεσή του στα ιζήματα και στην κοίτη (Βруниώτης & Παπαδόπουλος, 2004).

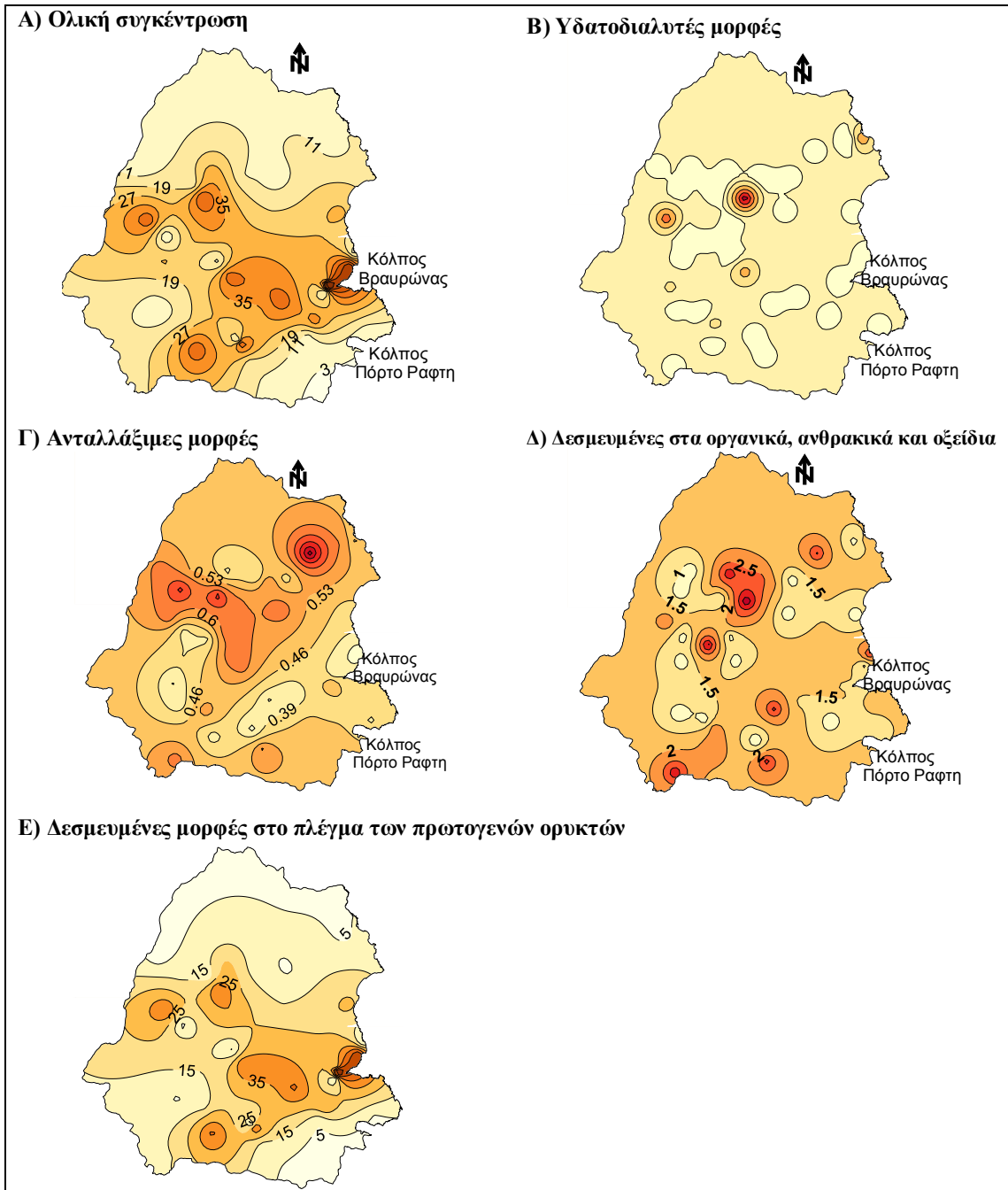


**Σχήμα 7.54:** Διάγραμμα ποσοστών συμμετοχής των διαφόρων φάσεων Cr επί των ολικών στα εδάφη της περιοχής έρευνας

**Υδατοδιαλυτές μορφές χρωμίου:** Το χρώμιο βρέθηκε σε μικρές συγκεντρώσεις στις υδατοδιαλυτές μορφές με επικρατούσα τη μηδενική τιμή (σχήμα 7.56-B) και μέσο όρο τιμών 0,04 ppm. Ο συντελεστής διακύμανσης είναι μικρός (0,12) υποδεικνύοντας τη μικρή διασπορά των τιμών. Η χωρική κατανομή των υδατοδιαλυτών μορφών (σχήμα 7.55-B) παρουσιάζει αυξητικές τάσεις προς τις περιοχές της Παλλήνης και των Γλυκών Νερών όπου εμφανίζονται στο γεωλογικό υπόβαθρο οι οφιολίθοι.

**Ανταλλάξιμες μορφές χρωμίου:** Οι ανταλλάξιμες μορφές χρωμίου στην πλειοψηφία τους είναι μηδενικές (σχήμα 7.56-Γ), όπως κι οι υδατοδιαλυτές, με μέσο όρο 0,49ppm. Η μικρή τιμή του συντελεστή διακύμανσης (0,32) δείχνει τη μικρή διασπορά των τιμών γύρω απ' τον αριθμητικό μέσο. Η έντονη αυξητική τάση (σχήμα 7.55-Γ) γύρω απ' τη λιγνιτοφόρο περιοχή της Ραφήνας (Μαρίνος, 1955) αποδίδεται προφανώς στην ύπαρξη

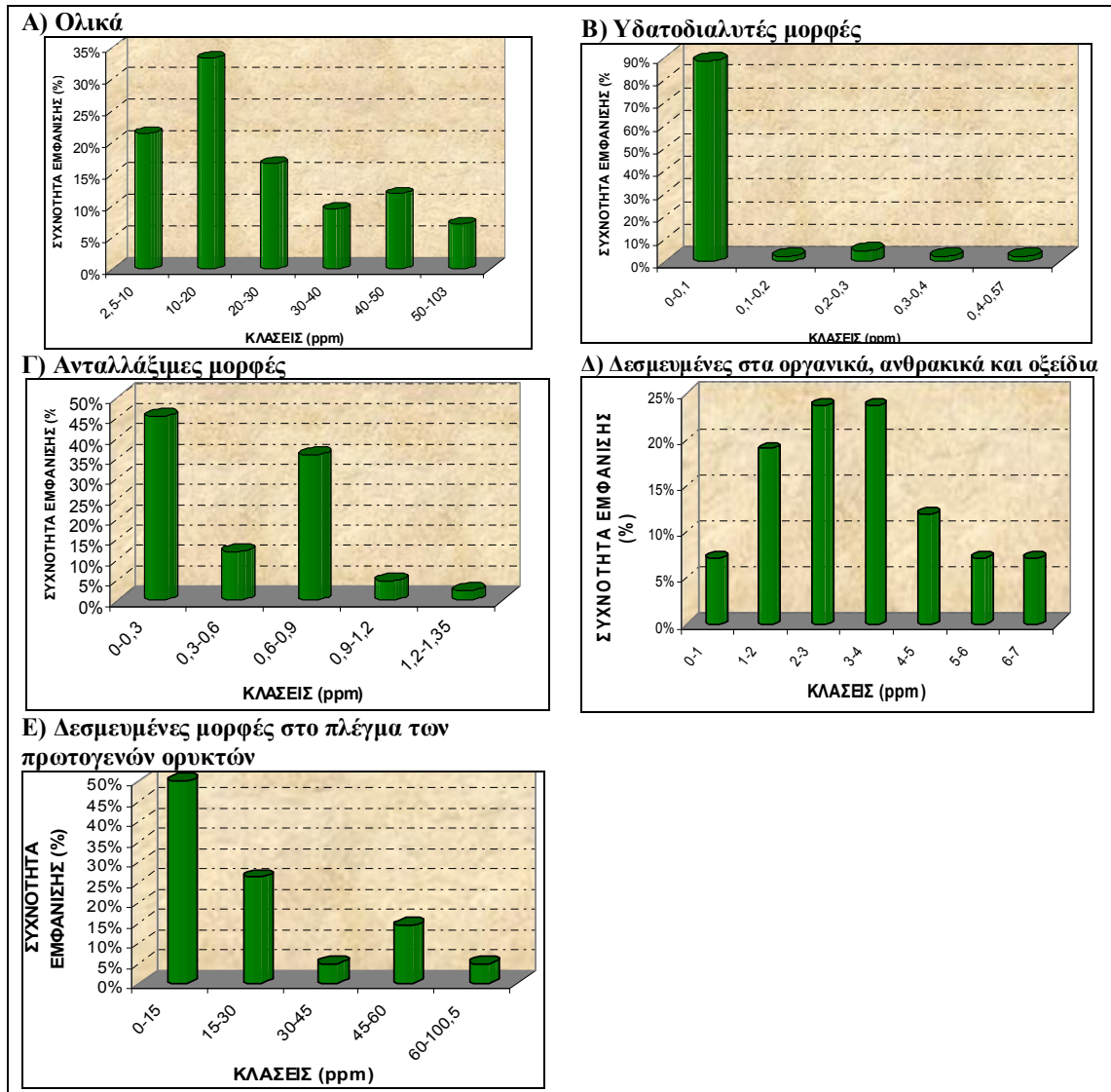
χρωμίου εντός των λιγνιτών. Οι συγκεντρώσεις του χρωμίου που προσδιορίζονται στην τέφρα των λιγνιτών των διαφόρων λεκανών της Ελλάδος κυμαίνονται μεταξύ 234 και 591ppm στην Πτολεμαΐδα, μεταξύ 236 και 351ppm στη Μεγαλόπολη, μεταξύ 84 και 211ppm στην Φλώρινα, μεταξύ 50 και 290ppm στη Δράμα και μεταξύ 92 και 343ppm στα Ιωάννινα (Foscolos et al., 1989,1998).



**Σχήμα 7.55:** Χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων του Cr (ppm) στα εδάφη της περιοχής έρευνας (Α: Ολικές Β: υδατοδιαλυτές, Γ: ανταλλάξιμες Δ: δεσμευμένες μορφές στα οργανικά και ανθρακικά τεμαχίδια του εδάφους και τα οξείδια Fe & Mn, και Ε: Δεσμευμένες μορφές στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών).



**Δεσμευμένες μορφές χρωμίου στα οξείδια Fe & Mn και τις οργανικές και ανθρακικές ενώσεις:** Τα δεσμευμένα μέταλλα ολικού χρωμίου στις ανθρακικές και οργανικές ενώσεις και τα οξείδια Fe & Mn βρέθηκαν επίσης σε χαμηλές συγκεντρώσεις, συγκριτικά με τα υπόλοιπα βαρέα μέταλλα (σχήμα 7.56-Δ) με μέσο όρο 1,64ppm. Η χωρική κατανομή (σχήμα 7.55-Δ) είναι ομαλή με μικρές διαφοροποιήσεις προς τις αστικές και βιομηχανικές περιοχές Παλλήνη, Κορωπί και Μαρκόπουλο αποδιδόμενες σε ατμοσφαιρική απόθεση καυσαερίων (Siegel, 2002) και διαρροή αποβλήτων (Kabata-Pendias and Pendias, 1992).



**Σχήμα 7.56:** Ιστογράμματα συχνοτήτων των συγκεντρώσεων του Cr (ppm) των εδαφών της περιοχής έρευνας (A: Ολικές B: υδατοδιαλυτές, Γ: ανταλλάξιμες Δ: δεσμευμένες μορφές στα οργανικά και ανθρακικά τεμαχίδια του εδάφους και τα οξείδια Fe & Mn, και E: Δεσμευμένες μορφές στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών).

*Δεσμευμένες μορφές χρωμίου στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών:* Οι συγκεντρώσεις Cr που εντοπίστηκαν στις συνδεδεμένες μορφές στο πλέγμα των ορυκτών αποδίδονται κυρίως στη δέσμευση του Cr από την άργιλο (Bartlett, 1999). Οι τιμές παρουσιάζουν μεγάλο εύρος και κυμαίνονται από 1,05 έως 100,34ppm και μέσο όρο 21,98ppm. Η κλάση με τη μέγιστη συχνότητα εμφάνισης είναι η πρώτη, από 0-15ppm (σχήμα 7.56-E). Η χωρική κατανομή (σχήμα 7.55-E) παρουσιάζει ομοιότητες με την αντίστοιχη του Ni με αυξητική τάση προς το δέλτα του Ερασίνου. Η γεωγενής προέλευση του χρωμίου συνδέεται με την ύπαρξη οφιολιθικών πετρωμάτων στο γεωλογικό υπόβαθρο της περιοχής. Η ύπαρξή του στα ιζήματα του ποταμού Ερασίνου αποδίδεται σε μεταφορά του αποσαθρωμένου οφιολιθικού υλικού και στην εναπόθεσή του στα ιζήματα και στην κοίτη (Βρυνιώτης & Παπαδόπουλος, 2004).

Η δέσμευση του Cr στο έδαφος συνδέεται κυρίως με την περιεκτικότητα σε άργιλο και σε μικρότερο βαθμό με τα οξείδια του σιδήρου και την οργανική ουσία (Bartlett, 1999).a



## 7.10 Στατιστική ανάλυση αποτελεσμάτων εδαφικών αναλύσεων

### 7.10.1 Ανάλυση συσχέτισης

Για τη στατιστική επεξεργασία των δεδομένων των χημικών αναλύσεων των εδαφών χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό SPSS κι ακολουθήθηκε η μεθοδολογία της ανάλυσης παραγόντων όπως και στη στατιστική ανάλυση των χημικών χαρακτηριστικών των υδάτων. Τα αποτελέσματα της παραγοντικής ανάλυσης με τους συντελεστές συσχέτισης των φυσικοχημικών παραμέτρων, των κύριων στοιχείων και των ολικών συγκεντρώσεων βαρέων μετάλλων των εδαφών παρουσιάζονται στον πίνακα 7.12. Γενικά, σχετικά ισχυρή θεωρείται η συσχέτιση των μεγεθών με συντελεστές μεγαλύτερους από  $|0,75|$ , εντούτοις, στην παρούσα εργασία εξετάστηκαν όλες οι συσχετίσεις με συντελεστές μεγαλύτερους του  $|0,6|$ .

Μετά από επισταμένη αξιολόγηση διαπιστώθηκε ότι:

- ♦ Ο λόγος C/N σχετίζεται γραμμικά με την οργανική ουσία με υψηλό συντελεστή συσχέτισης (0,79). Ο δείκτης C/N είναι, πέραν των άλλων, ενδεικτικός του ποσού οργανικής ουσίας που μπορεί να διατηρήσει ένα έδαφος. Όπως έχει παρατηρηθεί κι από την ομοιότητα στη χωρική κατανομή των δύο αυτών παραμέτρων (κεφ. 7.3.3 και 7.7) ο κάμπος των Μεσογείων παρουσιάζει χαμηλά ποσοστά οργανικής ουσίας και χαμηλές τιμές του δείκτη C/N λόγω της χρόνιας εντατικής καλλιέργειας.
- ♦ Η ηλεκτρική αγωγιμότητα EC παρουσιάζει υψηλό συντελεστή γραμμικής συσχέτισης με τα ανταλλάξιμα στοιχεία καλίου  $K^+$  (0,76) υποδεικνύοντας μεγαλύτερη εξάρτηση των τιμών της EC, αλλά και των ολικών διαλυμένων αλάτων από τις συγκεντρώσεις των παραπάνω στοιχείων σε σχέση με τα υπόλοιπα.
- ♦ Οι συγκεντρώσεις ιόντων  $Ca^{2+}$  συσχετίζονται ικανοποιητικά με την περιεκτικότητα ισοδύναμου  $CaCO_3$  (0,65). Συνεπώς, η προέλευσή τους αποδίδεται κυρίως στα ασβεστολιθικά πετρώματα της περιοχής ενώ δευτερευόντως είναι πιθανό να οφείλεται σε ανθρωπογενή παρέμβαση (προσθήκη εδαφοβελτιωτικών ή και λιπασμάτων).
- ♦ Η συγκέντρωση φώσφορου συσχετίζεται ικανοποιητικά με το ποσοστό οργανικής ουσίας (0,66) καθώς και με τις ολικές συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων Zn (0,76) και Pb (0,58) και Cd (0,70). Η συγκέντρωση αζώτου σχετίζεται επίσης γραμμικά με τα ίδια βαρέα μέταλλα (Zn:0,64, Pb:0,58 και Cd:0,74). Η οργανική ουσία παρουσιάζει επίσης σχετικά υψηλούς συντελεστές συσχέτισης με τα αντίστοιχα βαρέα μέταλλα (Zn:0,57, Pb:0,54 και Cd:0,46). Η συσχέτιση αζώτου και φωσφόρου (0,62) επιβεβαιώνει τη χρήση σύνθετων λιπασμάτων στην περιοχή (Kabata-Pendias and Pendias 1992, Ross 1994, Siegel 2002, Kabata-Pendias and Mukherjee 2007, [www.lenntech.com/heavymetals.htm](http://www.lenntech.com/heavymetals.htm)). Η οργανική ουσία έχει την ιδιότητα να δεσμεύει τον φώσφορο (Alloway 1995, Kabata-Pendias and Sadurski 2004, Καλλιάνου 2007) και η ιδιότητα αυτή επιβεβαιώνεται στη στατιστική επεξεργασία. Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις των δεσμευμένων μορφών κι ολικών συγκεντρώσεων βαρέων μετάλλων στα εδάφη της περιοχής εντοπίστηκαν σε οργανικό έδαφος πλησίον κτηνοτροφικής μονάδας.
- ♦ Τα βαρέα μέταλλα Zn, Pb και Cd (ολικές συγκεντρώσεις) παρουσιάζουν επίσης πολύ υψηλούς συντελεστές συσχέτισης μεταξύ τους (Zn-Cd:0,75 και Cd-Pb:0,59). Επειδή, όπως θα αποδειχθεί παρακάτω στην ανάλυση παραγόντων, η προέλευσή τους είναι κυρίως γεωγενής, η γραμμική τους συσχέτιση αποδίδεται κυρίως στα μικτά θειούχα ορυκτά που υπάρχουν στα πετρώματα της Αττικής (Κατσιαβριάς, 2007) και δευτερευόντως σε εφαρμογή φωσφορικών λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων που οδηγούν στη δέσμευση αυτών από τα εδαφικά τεμαχίδια (Ross 1994, Davies 1997, Siegel 2002, Kabata-Pendias

**Πίνακας 7.12:** Συντελεστές συσχέτισης των φυσικοχημικών παραμέτρων, των κύριων στοιχείων και των ολικών βαρέων μετάλλων των εδαφών

	pH	IAK	Ca	Mg	K	Na	CaCO <sub>3</sub>	EC	Οργ. ουσία	P	N	C/N	Fe	Mn	Cu	Zn	Cd	Pb	Ni	Co	Cr	
<b>pH</b>	1																					
<b>IAK</b>	0,02	1																				
<b>Ca</b>	0,59	-0,27	1																			
<b>Mg</b>	-0,04	-0,02	-0,01	1																		
<b>K</b>	-0,02	0,04	0,12	0,55	1																	
<b>Na</b>	0,04	0,43	0,04	-0,01	0,50	1																
<b>CaCO<sub>3</sub></b>	0,07	-0,29	<b>0,65</b>	0,03	-0,08	-0,07	1															
<b>EC</b>	-0,05	-0,15	0,14	0,60	<b>0,76</b>	0,27	0,05	1														
<b>Οργ. ουσία</b>	-0,33	-0,22	-0,20	0,32	-0,09	-0,28	0,12	0,15	1													
<b>P</b>	-0,12	-0,21	-0,03	0,63	0,29	-0,22	0,17	0,37	<b>0,66</b>	1												
<b>N</b>	0,06	0,18	-0,12	0,35	0,25	0,15	-0,15	0,43	0,37	<b>0,62</b>	1											
<b>C/N</b>	-0,39	-0,41	-0,09	0,07	-0,22	-0,35	0,26	-0,09	<b>0,79</b>	0,29	-0,24	1										
<b>Fe</b>	-0,17	-0,24	-0,01	-0,17	-0,11	-0,17	-0,10	-0,03	-0,07	-0,22	-0,36	0,13	1									
<b>Mn</b>	-0,10	0,10	-0,27	0,05	-0,04	-0,22	-0,46	-0,07	-0,02	0,11	0,06	-0,11	0,27	1								
<b>Cu</b>	-0,21	-0,08	-0,07	0,14	0,00	-0,08	0,07	0,02	0,09	0,10	-0,07	0,16	0,11	0,26	1							
<b>Zn</b>	-0,02	-0,25	-0,13	0,41	0,16	-0,10	0,02	0,34	<b>0,57</b>	<b>0,76</b>	<b>0,64</b>	0,19	-0,24	-0,02	-0,04	1						
<b>Cd</b>	0,01	-0,18	-0,08	0,36	0,14	-0,10	-0,04	0,37	0,46	<b>0,70</b>	<b>0,74</b>	-0,05	-0,26	0,05	-0,03	<b>0,75</b>	1					
<b>Pb</b>	0,00	-0,17	-0,04	0,36	0,13	-0,12	0,03	0,41	<b>0,54</b>	<b>0,58</b>	<b>0,58</b>	0,02	-0,24	0,03	-0,03	<b>0,44</b>	<b>0,59</b>	1				
<b>Ni</b>	-0,01	0,26	-0,02	0,19	0,54	0,50	-0,25	0,40	0,07	0,25	0,31	-0,18	0,05	0,16	0,13	0,05	0,06	0,12	1			
<b>Co</b>	0,04	0,06	-0,09	-0,19	0,04	0,07	-0,31	-0,21	-0,25	-0,12	-0,13	-0,18	0,33	0,35	-0,07	-0,08	-0,16	-0,15	0,27	1		
<b>Cr</b>	-0,21	0,03	0,15	0,03	0,38	0,27	0,06	0,32	-0,02	0,07	-0,03	-0,02	0,34	0,16	-0,11	-0,14	0,06	-0,09	<b>0,71</b>	0,33	1	

and Mukherjee 2007) και σε απόβλητα (Kabata-Pendias and Mukherjee 2007, Alloway 1995, Kabata-Pendias & Pendias 1992, Matthes 1973).

### 7.10.2 Ανάλυση παραγόντων R-τύπου

Από την παραγοντική ανάλυση (βλ. κεφ. 8.9.3) των φυσικοχημικών παραμέτρων, των κύριων στοιχείων και των ολικών συγκεντρώσεων βαρέων μετάλλων, και αφού διαπιστώθηκε η αρτιότητα της μεθόδου (έλεγχος δείκτη Kaiser-Meyer-Olkin > 0,5) προέκυψαν οι έξι παράγοντες που φαίνονται με τα φορτία τους στον πίνακα 7.13 κι αναλύονται ως ακολούθως:

- **1<sup>ος</sup> παράγοντας:** Ο φώσφορος, το άζωτο, η οργανική ουσία καθώς και οι ολικές συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων Zn, Cd και Pb αποτελούν τον πρώτο παράγοντα εξηγώντας το 21,4% της συνολικής διακύμανσης. Το άζωτο κι ο φώσφορος είναι στοιχεία που πιθανότατα προέρχονται από τα απόβλητα των κτηνοτροφιών, ([www.nhllakes.org](http://www.nhllakes.org)) αλλά και από την προσθήκη οργανικών και φωσφορούχων λιπασμάτων που παρασύρονται κι απολήγουν στις εκβολές. Οι ολικές συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων Zn, Cd και Pb αποδίδονται πρωτευόντως στα μικτά θειούχα ορυκτά που απαντώνται στο γεωλογικό υπόβαθρο της περιοχής και δευτερευόντως σε εφαρμογή φυτοφαρμάκων και κυρίως φωσφορικών λιπασμάτων που οδηγούν στη δέσμευση αυτών από την οργανική ουσία (Ross 1994, Davies 1997, Siegel 2002, Kabata-Pendias and Mukherjee 2007).
- **2<sup>ος</sup> παράγοντας:** Στη δεύτερη ομάδα με 15,3% της συνολικής διακύμανσης παρατηρούνται με υψηλά φορτία τα μέταλλα Ni και Cr με τα ανταλλάξιμα κατιόντα Na και K. Η συνύπαρξή τους συνδέεται με την ύπαρξη οφιολιθικών πετρωμάτων στο γεωλογικό υπόβαθρο της περιοχής και τη μεταφορά του αποσαθρωμένου οφιολιθικού υλικού κι εναπόθεσή του στα χαλαρά ιζήματα της περιοχής.
- **3<sup>ος</sup> παράγοντας:** Η τρίτη ομάδα παραγόντων με 11,4% της ολικής διακύμανσης περιλαμβάνει με υψηλά φορτία το στοιχείο  $Ca^{2+}$  και την περιεκτικότητα ισοδύναμου  $CaCO_3$  υποδηλώνοντας την κοινή προέλευσή τους από τα ασβεστολιθικά πετρώματα της περιοχής.
- **4<sup>ος</sup> παράγοντας:** Η τέταρτη ομάδα παραγόντων με 10,6% της ολικής διακύμανσης παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον. Ο λόγος C/N κι η οργανική ουσία παρατηρούνται σε αυτήν την ομάδα με υψηλά φορτία κι επιβεβαιώνουν τα ήδη προαναφερθέντα στα κεφάλαια 7.3.3 και 7.7 για τη γονιμότητα των καλλιεργούμενων εδαφών. Η χαμηλή γονιμότητα και περιεκτικότητα σε οργανική ουσία παρατηρείται συχνά σε καλλιεργούμενα εδάφη (Χαϊντούτη, 1977).
- **5<sup>ος</sup> παράγοντας:** Στην πέμπτη ομάδα με 9,9% της συνολικής διακύμανσης παρατηρούνται με υψηλά φορτία τα βαρέα μέταλλα Co, Fe και Mn. Η συνύπαρξή τους αποδίδεται στα οξείδια σιδήρου και μαγγανίου και στην ιδιότητα αυτών να δεσμεύουν τα προϊόντα εξαλλοίωσης των οφιολιθικών ρακών μεταξύ των οποίων είναι και το κοβάλτιο.
- **6<sup>ος</sup> παράγοντας:** Στην τελευταία ομάδα παραγόντων με διακύμανση 7,36% της συνολικής παρατηρούνται τα βαρέα μεταλλικά στοιχεία χαλκού Cu με φορτίο 0,72. Λόγω της υπεροχής του αθροίσματος των δεσμευμένων στις ανθρακικές κι οργανικές ενώσεις και τα οξείδια, των ανταλλάξιμων κι υδατοδιαλυτών μορφών του χαλκού (σύνολο 72% επί των ολικών) έναντι των δεσμευμένων μορφών στο κρυσταλλικό πλέγμα (28% επί των ολικών) οδηγούμαστε στο συμπέρασμα πως πρόκειται για ανθρωπογενής προέλευση. Η πιθανότερη εξήγηση είναι τα χαλκούχα σκευάσματα που

χρησιμοποιούνται κατά κόρον στο αμπέλι, καλλιέργεια που καταλαμβάνει 28% των καλλιεργούμενων εκτάσεων στην περιοχή έρευνας.

**Πίνακας 7.13:** Παράγοντες στα εδάφη

Παράμετρος	1 <sup>ος</sup> Παράγων	2 <sup>ος</sup> Παράγων	3 <sup>ος</sup> Παράγων	4 <sup>ος</sup> Παράγων	5 <sup>ος</sup> Παράγων	6 <sup>ος</sup> Παράγων
pH	0,01	-0,10	0,32	-0,79	-0,04	-0,16
IAK	-0,16	0,21	-0,64	-0,16	-0,24	-0,27
Ca	-0,09	0,13	<b>0,83</b>	-0,39	-0,05	-0,12
Mg	0,47	0,42	0,05	-0,03	-0,14	0,53
K	0,10	<b>0,86</b>	0,02	-0,15	-0,06	0,26
Na	-0,24	<b>0,67</b>	-0,24	-0,13	-0,29	-0,26
CaCO <sub>3</sub>	-0,02	-0,01	<b>0,79</b>	0,15	-0,33	-0,06
EC	0,34	0,72	0,18	-0,05	-0,09	0,32
org matter	<b>0,68</b>	-0,07	0,10	<b>0,64</b>	-0,07	0,02
P	<b>0,86</b>	0,18	0,13	0,14	0,01	0,21
N	<b>0,81</b>	0,23	-0,25	-0,23	-0,17	-0,08
C/N	0,20	-0,23	0,31	<b>0,81</b>	0,00	0,07
total Fe	-0,26	0,00	0,15	0,23	<b>0,71</b>	0,08
total Mn	0,10	-0,07	-0,38	-0,10	<b>0,67</b>	0,32
total Cu	-0,09	-0,04	-0,04	0,17	0,02	<b>0,72</b>
total Zn	<b>0,85</b>	0,04	0,02	0,05	-0,06	0,04
total Cd	<b>0,89</b>	-0,10	-0,14	0,01	0,01	0,02
total Pb	<b>0,73</b>	0,04	0,16	0,23	-0,05	-0,13
total Ni	0,15	<b>0,78</b>	-0,18	0,01	0,28	-0,23
total Co	-0,09	0,08	-0,17	-0,16	<b>0,71</b>	-0,30
total Cr	-0,08	0,69	0,15	0,23	0,48	-0,26
<b>% ολικής διακύμανσης</b>	<b>21,39</b>	<b>15,29</b>	<b>11,41</b>	<b>10,61</b>	<b>9,91</b>	<b>7,36</b>

Για την καλύτερη διαφοροποίηση των ανθρωπογενών και γεωγενών παραγόντων προέλευσης των βαρέων μετάλλων που βρέθηκαν στα εδάφη της περιοχής έρευνας έγινε μία επιπλέον ανάλυση παραγόντων με τις τιμές των βαρέων μετάλλων που είναι δεσμευμένες στο κρυσταλλικό πλέγμα, όπως προέκυψαν από την αφαίρεση από τις ολικές συγκεντρώσεις (πιν. 7.6) του αθροίσματος των συγκεντρώσεων υδατοδιαλυτών, ανταλλάξιμων και δεσμευμένων μορφών στα οξείδια, τις οργανικές κι ανθρακικές ενώσεις. Οι δεσμευμένες μορφές στο κρυσταλλικό πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών έχουν γεωγενή προέλευση. Στην ανθρωπογενή προέλευση κατατάσσουμε τα μέταλλα που βρίσκουμε στα ανταλλάξιμα και τα συνδεδεμένα με ανθρακικά, διότι μέρος των ιόντων των βαρέων μετάλλων σταδιακά ενώνεται με ανθρακικές ρίζες του εδάφους. Στα συνδεδεμένα με τις οργανικές ενώσεις μέταλλα η προέλευσή τους είναι ασαφής διότι τα μέταλλα που είναι δεσμευμένα με οργανική ύλη μπορεί να προέρχονται τόσο από ανθρωπογενείς όσο κι από γεωγενείς δραστηριότητες με τις ίδιες πιθανότητες.

Στα βαρέα μέταλλα που προσδιορίστηκαν δεσμευμένα στο κρυσταλλικό πλέγμα εκτιμούμε ότι θα προέρχονται από τα μητρικά πετρώματα της ευρύτερης περιοχής έρευνας. Στην ανάλυση παραγόντων παρατηρούμε τέσσερις παράγοντες όπως φαίνονται στον πίνακα 7.14.

- **1<sup>ος</sup> παράγοντας:** Εξηγεί το 21,5% της ολικής διακύμανσης και περιλαμβάνει το νικέλιο και το χρώμιο με πολύ υψηλά φορτία (0,93 και 0,93 αντίστοιχα). Ο παράγων αυτός συνδέεται με την ύπαρξη οφιολιθικών πετρωμάτων στο γεωλογικό υπόβαθρο της περιοχής και τη μεταφορά του αποσθρωμένου οφιολιθικού υλικού κι εναπόθεσή του στα ιζήματα και τις κοίτες των ποταμών (Βруνιώτης & Παπαδόπουλος, 2004).

- **2<sup>ος</sup> παράγοντας:** Εξηγεί το 19,5% της ολικής διακύμανσης κι αφορά τα στοιχεία Cu (0,86), Fe (0,64) και Mn (0,58). Η ύπαρξή τους αποδίδεται στα οξείδια σιδήρου και μαγγανίου και στην ιδιότητα αυτών να δεσμεύουν τα βαρέα μέταλλα όπως ο χαλκός.
- **3<sup>ος</sup> παράγοντας:** Με 16,2% της ολικής διακύμανσης αφορά τα μέταλλα Zn και Cd. Η ύπαρξή τους αποδίδεται στην αποσάθρωση σχιστόλιθων και μικτών θειούχων ορυκτών που απαντώνται στο γεωλογικό υπόβαθρο της περιοχής (Κατσιαβριάς, 2007).
- **4<sup>ος</sup> παράγοντας:** Εξηγεί το 14,35% της ολικής διακύμανσης κι αφορά τα στοιχεία Pb και Co. Ο παράγων αυτός συνδέεται με την ύπαρξη οφιολίθων, σχιστόλιθων και μικτών θειούχων ορυκτών που απαντώνται στο γεωλογικό υπόβαθρο της περιοχής (Κατσιαβριάς, 2007).

**Πίνακας 7.14:** Ανάλυση παραγόντων γεωγενούς προέλευσης (φάσης δεσμευμένων μορφών στο κρυσταλλικό πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών)

Παράμετρος	1 <sup>ος</sup> Παράγων	2 <sup>ος</sup> Παράγων	3 <sup>ος</sup> Παράγων	4 <sup>ος</sup> Παράγων
Fe	0,29	<b>0,64</b>	-0,07	0,26
Mn	-0,05	<b>0,58</b>	-0,09	-0,01
Cu	-0,11	<b>0,86</b>	0,04	-0,22
Zn	-0,07	0,02	<b>0,88</b>	-0,04
Cd	0,02	-0,11	<b>0,78</b>	0,04
Pb	-0,10	-0,14	-0,06	<b>0,90</b>
Ni	<b>0,93</b>	-0,08	0,01	-0,13
Co	0,30	0,48	0,25	<b>0,57</b>
Cr	<b>0,93</b>	0,10	-0,06	0,13
<b>% ολικής διακύμανσης</b>	<b>21,50</b>	<b>19,52</b>	<b>16,17</b>	<b>14,35</b>

Συμπερασματικά, τα μητρικά πετρώματα είναι η κύρια αιτία εμφάνισης υψηλών συγκεντρώσεων βαρέων μετάλλων στα εδάφη της περιοχής έρευνας κι αφορούν τους οφιόλιθους, τους σχιστόλιθους και τα μικτά θειούχα ορυκτά.

Ανθρωπογενείς δραστηριότητες όπως η εφαρμογή αγροχημικών και δευτερευόντως τα απόβλητα, δρουν αθροιστικά στις συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων στα εδάφη.

Πέραν των βαρέων μετάλλων η στατιστική ανάλυση επιβεβαιώνει τη συνεισφορά των ανθρακικών πετρωμάτων, που αφθονούν στο γεωλογικό υπόβαθρο, στη σύσταση των εδαφών καθώς και την υποβάθμιση της γονιμότητας αυτών λόγω της εντατικής καλλιέργειας στο ιστορικό κάμπο των Μεσογείων.

## 8. ΥΔΡΟΧΗΜΕΙΑ

### 8.1 Γενικά

Τη δεκαετία του 1970 έγινε αντιληπτή η ανάγκη χρηματοδότησης προγραμμάτων για τον έλεγχο της ρύπανσης και μόλυνσης των υδάτινων συστημάτων. Η πρώτη έρευνα στις ΗΠΑ, ονομαζόμενη ως “Black Creek Project” χρηματοδοτήθηκε υπό την αιγίδα της “Water Quality Act” και με δωρεά της “Environmental Protection Agency” κι αφορούσε τον έλεγχο των επιπτώσεων της γεωργίας στην υποβάθμιση της ποιότητας των υδάτων και την έρευνα των περιβαλλοντικών επιπτώσεων στη λεκάνη απορροής του ποταμού Maumee στο Οχάιο, συνολικής έκτασης 48,5km<sup>2</sup> (Karr and Dudley, 1981). Έκτοτε, έχουν πραγματοποιηθεί αμέτρητες μελέτες στα υδάτινα συστήματα για τον έλεγχο της ποιότητας των υδάτων και τη βελτίωση αυτής. Στις οικολογικές επιστήμες, αντικείμενο έρευνας τις τελευταίες δεκαετίες αποτελεί η διερεύνηση της συνύπαρξης και αλληλεπίδρασης της αβιοτικής φάσης και της βιοτικής φάσης των οποίων γέφυρα αποτελεί το νερό (επιφανειακό και κυρίως υπόγειο). Από τη δυναμική συμβίωση των δύο κόσμων προκύπτουν κρίσιμες αλληλεπιδράσεις που προκαλούν έντονα το επιστημονικό ενδιαφέρον (Stournaras, 2011).

Βασικό εργαλείο ελέγχου των υπόγειων κι επιφανειακών υδάτων είναι η χημική ανάλυση των νερών. Οι χημικές αναλύσεις στα ύδατα αφορούν τη μέτρηση φυσικοχημικών παραμέτρων, κύριων στοιχείων, ιχνοστοιχείων και βαρέων μετάλλων, προσδίδοντας σημαντικές πληροφορίες για την υγεία της χλωρίδας και πανίδας, τον υδρολογικό κύκλο, τις αλληλεπιδράσεις των υδάτων με τα γεωλογικά πετρώματα, τις ανθρωπογενείς επιπτώσεις στα υδάτινα οικοσυστήματα και την κατανόηση των ορίων των υδάτινων συστημάτων να δεχθούν ρυπαντικά στοιχεία χωρίς να καταστραφεί η υδρόβια πανίδα και χλωρίδα και η ανθρώπινη υγεία μέσω της χρήσης του νερού. Η επεξεργασία των αποτελεσμάτων μας οδηγεί στην κατανόηση τυχόν υποβάθμισης της ποιότητας των υδάτων και σε συμπεράσματα για τη δυνητική χρήση αυτών των υδάτων (άρδευση, ύδρευση, βιομηχανική χρήση κλπ.) ([www.waterencyclopedia.com](http://www.waterencyclopedia.com)).

Τα δείγματα των υδάτων που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο της ποιότητας των υδάτων ενός συστήματος πρέπει να είναι αντιπροσωπευτικά, καλύπτοντας χωρικά όλη τη μελετώμενη έκταση της περιοχής. Η καλύτερη μέθοδος δειγματοληψίας είναι η δημιουργία καννάβου, σε κάθε κελί του οποίου θα περιέχεται ένα δείγμα νερού.

### 8.2 Δειγματοληψία

Η δειγματοληψία ξεκίνησε στα τέλη της ξηρής περιόδου, το Σεπτέμβριο του 2005 (τέλη της 1<sup>ης</sup> ξηρής περιόδου), συνεχίστηκε το Μάρτιο του 2006 (τέλη της 1<sup>ης</sup> υγρής περιόδου) κι ακολούθησε επαναληπτική δειγματοληψία το Σεπτέμβριο του 2006 (τέλη της 2<sup>ης</sup> ξηρής περιόδου) και το Μάρτιο του 2007 (τέλη της 2<sup>ης</sup> υγρής περιόδου) αντίστοιχα. Κάθε δειγματοληψία είχε μέγιστη διάρκεια 10 ημέρες.

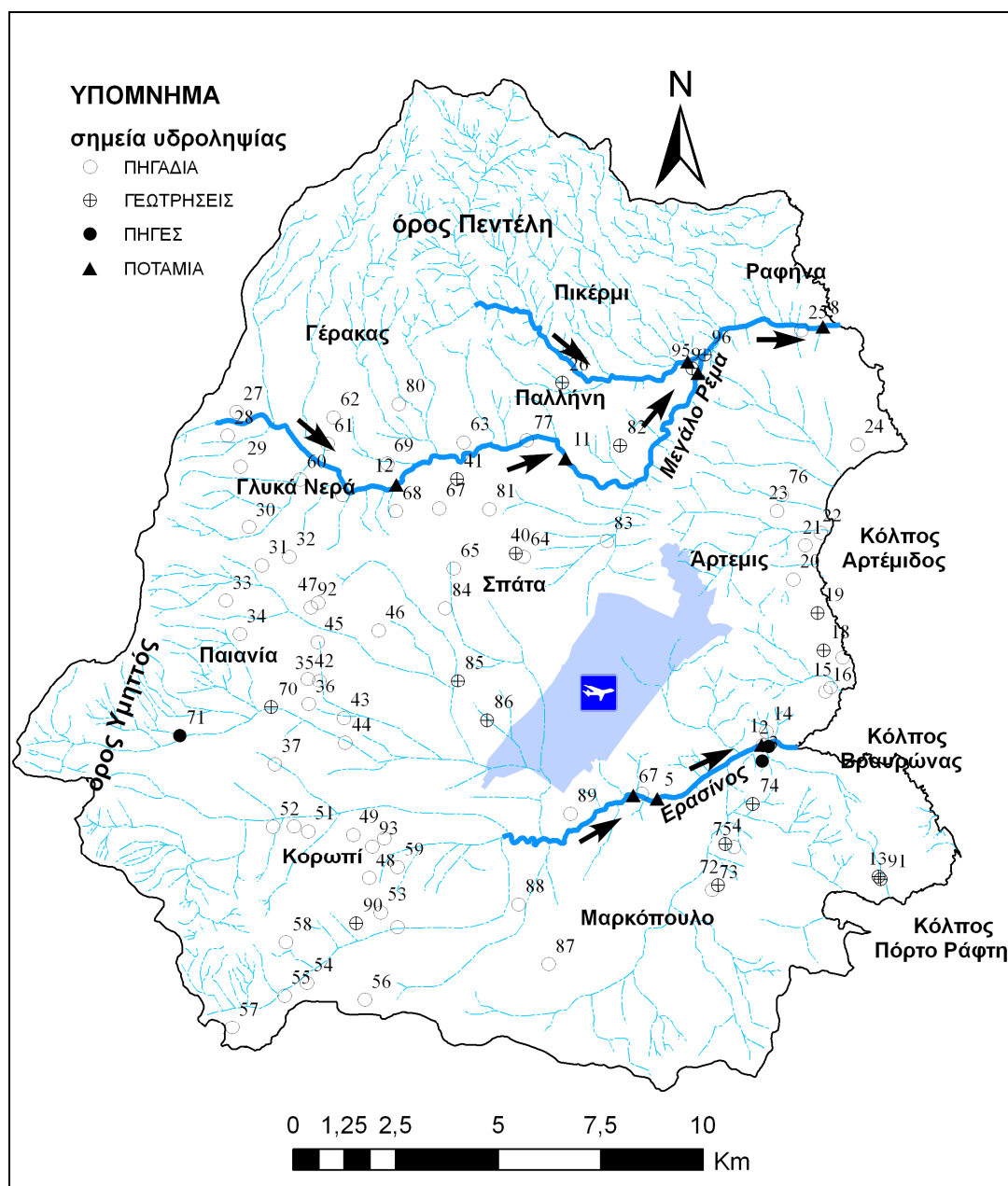
Η επιλογή των προαναφερόμενων περιόδων δειγματοληψίας, δηλ. προς τα τέλη της υγρής και ξηρής περιόδου, συνηθίζεται για υδρογεωλογικές έρευνες. Κατά το διάστημα της υγρής περιόδου έχει λάβει χώρα ο εμπλουτισμός των υδροφορέων και η διαδικασία της αραίωσης θεωρητικά βρίσκεται προς τα τέλη της εξέλιξης της. Αντίθετα κατά το διάστημα της ξηρής περιόδου, όπου η εκμετάλλευση των υδροφορέων, κυρίως για αρδευτικούς σκοπούς, έχει πλέον σταματήσει και επομένως το υπόγειο νερό βρίσκεται στους υδροφορείς για περισσότερο χρονικό διάστημα και οι διάφορες γεωχημικές διαδικασίες βρίσκονται σε πλήρη εξέλιξη.

Βασικός σκοπός των δειγματοληψιών αυτών είναι να προσδιοριστεί το μέγεθος της ποιοτικής διαφοροποίησης των υπόγειων νερών και να εντοπισθούν οι κύριοι παράγοντες, γεωγενείς ή ανθρωπογενείς, που συμβάλλουν στην διαμόρφωση της κατάστασης αυτής και να προταθούν τα αντίστοιχα μέτρα προστασίας τους.

Συνολικά συλλέχθηκαν 86 δείγματα υπόγειων νερών, αντιπροσωπευτικά της περιοχής έρευνας. Αντιμετωπίστηκε δυσκολία στο να συλλεχτούν τα ίδια δείγματα νερού στις επόμενες περιόδους δειγματοληψίας για ποικίλους λόγους (αρχικώς ξέφραγα πηγάδια που αργότερα κλειδώθηκαν με λουκέτο, άρνηση ιδιοκτητών να ξαναδώσουν δείγμα νερού, αποχή ιδιοκτητών από εξοχικές κατοικίες κλπ.). Αυτό οδήγησε στην αναζήτηση νέων σημείων δειγματοληψίας, δυσχεραίνοντας την όλη διαδικασία και τη μετέπειτα αξιολόγηση των αποτελεσμάτων.

Συνολικά έγινε δειγματοληψία σε 65 πηγάδια, 18 γεωτρήσεις, 3 πηγές και σε 8 επιλεγμένα σημεία δειγματοληψίας επιφανειακού νερού συμπεριλαμβανομένων των δύο κύριων ρεμάτων Ραφήνας και Ερασίνου (σχήμα 8.1). Στα δύο τελευταία ρέματα λαμβάνονταν δείγματα κάθε μήνα για πάνω από ένα έτος (από 1<sup>η</sup> Σεπτεμβρίου 2005 έως 30 Νοεμβρίου 2006) με άμεση εργαστηριακή ανάλυση. Τα χαρακτηριστικά κάθε σημείου δειγματοληψίας φαίνονται στον πίνακα VII του παραρτήματος.

Ο συνολικός αριθμός χημικών αναλύσεων υπόγειων και επιφανειακών νερών που πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια της παρούσης διδακτορικής διατριβής ανέρχεται σε 256 αναλύσεις.



Σχήμα 8.1: Το υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής έρευνας και τα σημεία δειγματοληψίας νερού



Όλες οι δειγματοληψίες πραγματοποιήθηκαν κάτω από αίθριες καιρικές συνθήκες πλην των μηνιαίων δειγματοληψιών από τα επιφανειακά νερά. Πραγματοποιήθηκαν επιτόπιες μετρήσεις της θερμοκρασίας T, του pH και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας EC.

Τα δείγματα νερού συλλέχθηκαν σε πλαστικά δοχεία πολυαιθυλενίου χωρητικότητας 1 λίτρου (τα οποία προηγουμένως ξεπλύθηκαν καλά με το ίδιο το προς ανάλυση νερό), σφραγίστηκαν καλά και τοποθετήθηκαν σε δροσερό και σκιερό μέρος μέχρι την ανάλυσή τους. Σε ξεχωριστά πλαστικά μπουκαλάκια χωρητικότητας 100ml συλλέχθηκαν αντίστοιχα δείγματα, τα οποία πρώτα διηθήθηκαν με φίλτρο 45nm και στη συνέχεια συντηρήθηκαν με προσθήκη 1ml HNO<sub>3</sub>. Τα δείγματα αυτά χρησιμοποιήθηκαν για την ανίχνευση των βαρέων μετάλλων.

Τα επιφανειακά νερά που συλλέχθηκαν για τον ποιοτικό προσδιορισμό φαινολών, τοποθετήθηκαν σε γυάλινα μπουκάλια, διηθήθηκαν και συντηρήθηκαν με ισχυρό φωσφορικό οξύ έτσι ώστε το pH να πέσει στο 4. Η δειγματοληψία για την ανίχνευση φαινολών έγινε τον Οκτώβριο 2005, το Νοέμβριο 2005 και το Νοέμβριο 2006 (περίοδος κατά την οποία λειτουργούν πλήρως τα ελαιοτριβεία και τα πατητήρια των οποίων τα απόβλητα περιέχουν παράγωγα φαινολών).

### 8.2.1 Επιτόπιες μετρήσεις

Οι επιτόπιες παρατηρήσεις περιέλαβαν τις μετρήσεις των ακόλουθων παραμέτρων με χρήση των αντίστοιχων φορητών οργάνων:

- μέτρηση θερμοκρασίας με το αγωγιμόμετρο WTW LF 330/SET
- μέτρηση ηλ. αγωγιμότητας με το αγωγιμόμετρο WTW LF 330/SET
- μέτρηση pH με το πεχάμετρο WTW PH 330i /SET
- μέτρηση παροχής υδρορεμάτων με το μιλίσκο Global Flow Probe FP101-FP201

Τα αποτελέσματα των επιτόπιων μετρήσεων παρατίθενται στον πίνακα VIII του παραρτήματος.

### 8.2.2 Εργαστηριακές αναλύσεις

Οι υδροχημικές αναλύσεις περιλαμβάνουν τη διερεύνηση των ακόλουθων χημικών παραμέτρων με χρήση των αντίστοιχων μεθόδων:

Ο ποσοτικός προσδιορισμός της ολικής σκληρότητας, της ανθρακικής ή παροδικής σκληρότητας, των οξυανθρακικών ιόντων (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) και των ιόντων χλωρίου (Cl<sup>-</sup>) έγινε με τιτλοδότηση.

- *προσδιορισμός ολικής σκληρότητας*: 50ml δείγματος στο οποίο προστέθηκαν 1ml Hardness1 και 2 σταγόνες Hardness2 και τιτλοδοτήθηκε με EDTA 0,2N
- *προσδιορισμός ανθρακικής σκληρότητας και οξυανθρακικής ρίζας HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>*: 100ml δείγματος στο οποίο προστέθηκαν 3 σταγόνες πυκνό διάλυμα πορτοκαλόχρουν του μεθυλίου ως δείκτη και τιτλοδοτήθηκε με HCl 0,1N. Ο όγκος του τιτλοδότη που καταναλώθηκε πολλαπλασιάστηκε με τον συντελεστή 2,8 και υπολογίστηκε η ανθρακική σκληρότητα σε °dH (γερμανικοί βαθμοί σκληρότητας) και με τον συντελεστή 61 και εκτιμήθηκε η συγκέντρωση της οξυανθρακικής ρίζας HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>
- *προσδιορισμός των ιόντων χλωρίου (Cl<sup>-</sup>)*: 100ml δείγματος στο οποίο προστέθηκαν 3 σταγόνες πυκνό διάλυμα διχρωμικού καλίου ως δείκτη και τιτλοδοτήθηκε με διάλυμα AgNO<sub>3</sub> 0,1N.
- *προσδιορισμός της ανάλωσης KMnO<sub>4</sub>*: έγινε τιτλοδοτικά με χρήση αραιωμένου κατά 5% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> και oxalate για την οξείδωση 0,1 KMnO<sub>4</sub> ως τιτλοδότη (Holl, 1979)

Τα φωσφορικά PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, τα θειικά SO<sub>4</sub><sup>=</sup>, τα νιτρικά NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, τ' αμμωνιακά ιόντα NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, το SiO<sub>2</sub>, οι υδραζίνες HC, τα κυανίδια CN<sup>-</sup> καθώς και τα αλογόνα βρώμιο Br<sup>-</sup>, ιώδιο

προσδιορισμός των ιόντων βρωμίου και φθόριο  $F^-$  προσδιορίστηκαν με τη βοήθεια φασματοφωτόμετρου εκπομπής Hach DR-3000.

- *προσδιορισμός των Φωσφορικών ιόντων ( $PO_4^{3-}$ ):* 25ml δείγματος στο οποίο προστέθηκε το αντιδραστήριο Phosver 3 της Hach, προσδιορισμός σε μήκος κύματος 890nm.
- *προσδιορισμός των Θεικών ιόντων χλωρίου ( $SO_4^{2-}$ ):* 25ml δείγματος στο οποίο προστέθηκε το αντιδραστήριο Sulfaver 4 της Hach, προσδιορισμός σε μήκος κύματος 450nm.
- *προσδιορισμός των Νιτρικών ιόντων ( $NO_3^-$ ):* 25ml δείγματος στο οποίο προστέθηκε το αντιδραστήριο Nitrover 5 της Hach, προσδιορισμός σε μήκος κύματος 500 nm.
- *προσδιορισμός των Αμμωνιακών ιόντων( $NH_4^+$ ):* 25ml δείγματος στο οποίο προστέθηκαν τα αντιδραστήρια 1ml Nessler Reagent, 3σταγόνες Mineral stabilizer και 3 σταγόνες Polyvinyl Alcohol Dispersing Agent, προσδιορισμός σε μήκος κύματος 425nm.
- *προσδιορισμός του Διοξειδίου του Πυριτίου ( $SiO_2$ ):* 25ml δείγματος στο οποίο προστέθηκε το αντιδραστήριο Acid Reagent Powder Pillows, Citric Acid και Molybdate Reagent Powder Pillows της Hach, προσδιορισμός σε μήκος κύματος 410nm.
- *προσδιορισμός των ιόντων Βρωμίου ( $Br^-$ ):* 25ml δείγματος στο οποίο προστέθηκε το αντιδραστήριο DPD total Chlorine reagent της Hach, προσδιορισμός σε μήκος κύματος 530nm.
- *προσδιορισμός των ιόντων Ιωδίου ( $I^-$ ):* 25ml δείγματος στο οποίο προστέθηκε το αντιδραστήριο DPD total Chlorine reagent της Hach, προσδιορισμός σε μήκος κύματος 530nm.
- *προσδιορισμός των ιόντων Φθορίου ( $F^-$ ):* 25ml δείγματος στο οποίο προστέθηκαν 5ml από το αντιδραστήριο SPADNS Reagent της Hach, προσδιορισμός σε μήκος κύματος 580nm.
- *προσδιορισμός των ενώσεων κυανίου ( $CN^-$ ):* 25ml δείγματος στο οποίο προστέθηκαν τα αντιδραστήρια Cyaniver 3, Cyaniver 4 και Cyaniver 5 της Hach, προσδιορισμός σε μήκος κύματος 612 nm.
- *προσδιορισμός των Υδραζίνων ( $HC$ ):* 25ml δείγματος στο οποίο προστέθηκε 1ml Hydraver2 και το αντιδραστήριο Hydrazine Reagent της Hach, προσδιορισμός σε μήκος κύματος 455nm.
- *προσδιορισμός φαινολικών ουσιών:* 25ml δείγματος στο οποίο προστέθηκαν 5ml Hardness1, το αντιδραστήριο Phenol 2 της Hach και 30ml χλωροφόρμιο, προσδιορισμός σε μήκος κύματος 460nm. Η συλλογή των δειγμάτων έγινε σε γυάλινες φιάλες του ενός λίτρου με άμεση οξίνιση με προσθήκη 1ml HCl. Η εργαστηριακή ανάλυση έγινε εντός 24ώρου

Τα στοιχεία νάτριο  $Na^+$  και κάλιο  $K^+$  προσδιορίστηκαν φλογοφωτομετρικά με τη βοήθεια του φλογοφωτόμετρου CORNING Flame Photometer 410.

Τα βαρέα μεταλλικά ιχνοστοιχεία Cd, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn, Sr, Cr και Co προσδιορίστηκαν σε φασματοσκοπία ατομικής απορρόφησης με φασματόμετρο GBS 908.

Το όργανο της ατομικής απορρόφησης βασίζεται στην ιδιότητα που έχουν τα ελεύθερα άτομα ενός στοιχείου να απορροφούν ακτινοβολία σε χαρακτηριστικά για το στοιχείο μήκη κύματος που καθορίζονται απ' την εξωτερική ηλεκτρονική του δομή. Η ποσότητα της απορροφούμενης ακτινοβολίας είναι ένα μέτρο αριθμησης των ατόμων που περνούν απ' τη δέσμη του φωτός.

Το όργανο αποτελείται από 1) μια πηγή φωτός που στην περίπτωσή μας είναι μια κοίλα καθοδική λυχνία HCL (Hollow Cathodic Lamp) διαφορετική για κάθε στοιχείο, 2) την πηγή ενέργειας που είναι συνήθως φλόγα, στην περίπτωσή μας η φλόγα

προέρχεται από φιάλη ασετυλίνης, 3) το μονοχρωματογράφο που απομονώνει το συγκεκριμένο μήκος κύματος, 4) τον φωτοπολλαπλασιαστή και 5) τη συσκευή εξαγωγής των αποτελεσμάτων που στην περίπτωση μας είναι ένας Ηλεκτρονικός Υπολογιστής.

Η δέσμη φωτός διαπερνά τη φλόγα, μέσα στην οποία ψεκάζεται το διάλυμα του δείγματος από ειδικό εξάρτημα προκαλώντας νεφέλωμα. Η φλόγα απομονώνει το νεφέλωμα του δείγματος και ξεχωρίζει τα άτομα του εξεταζόμενου στοιχείου. Τα άτομα του στοιχείου στην φλόγα απορροφούν το φάσμα ακτινοβολίας του συγκεκριμένου στοιχείου σε χαρακτηριστικά μήκη κύματος που απομονώνονται απ' τον μονοχρωματογράφο. Η μείωση της ποσότητας του φωτός που φτάνει στον ανιχνευτή όταν υπάρχουν άτομα του στοιχείου στο δείγμα, είναι ένα μέτρο της συγκέντρωσης των ατόμων του στοιχείου.

Υπάρχει γραμμική σχέση μεταξύ της μετρούμενης απορροφούμενης ακτινοβολίας και της συγκέντρωσης των ατόμων του στοιχείου. Το όργανο εμφανίζει τ' αποτελέσματα σε H/Y.

Κατά την εφαρμογή της μεθόδου επιλέχθηκε η μέτρηση κάθε δείγματος στα 10sec με 3 επαναλήψεις (συνολικά 30 sec). Το εύρος λειτουργίας του οργάνου κι η ευαισθησία του, ανάλογα το μετρούμενο στοιχείο, φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα. Στον πίνακα 8.1, που ακολουθεί παρουσιάζονται αναλυτικά τα μήκη κύματος, το βέλτιστο εύρος μετρήσεων και η ευαισθησία μέτρησης για κάθε ένα μετρούμενο στοιχείο.

**Πίνακας 8.1:** Χαρακτηριστικά στοιχεία προσδιορισμού των βαρέων μετάλλων σύμφωνα με τη φασματοσκοπία ατομικής απορρόφησης με φασματόμετρο τύπου GBS 908.

Μεταλλικό Στοιχείο	Μήκος Κύματος (Wavelength) nm	Βέλτιστο εύρος μετρήσεων (Optimum working range) ppm	Ευαισθησία οργάνου (µg/ml)
Cd (Κάδμιο)	228,8	0,2-1,8	0,009
Co (Κοβάλτιο)	240,7	2,5-9	0,05
Cr (Χρώμιο ολικό)	357,9	2-15	0,05
Cu (Χαλκός)	324,7	1-5	0,025
Fe (Σίδηρος ολικός)	248,3	2-9	0,05
Mn (Μαγγάνιο)	279,5	1-3,6	0,02
Ni (Νικέλιο)	232,0	1,8-8	0,04
Pb (Μόλυβδος)	217,0	2,5-20	0,06
Sr (Στρόντιο)	460,7	2-8	0,04
Zn (Ψευδάργυρος)	213,9	0,4-1,5	0,008

Για κάθε δείγμα έγινε έλεγχος του ιοντικού ισοζυγίου ανιόντων – κατιόντων. Στην πλειοψηφία των δειγμάτων η διαφορά ανιόντων – κατιόντων ήταν πολύ μικρότερη του 5%. Τα αποτελέσματα των αναλύσεων (μέσοι όροι ξηρής και υγρής περιόδου των φυσικοχημικών παραμέτρων και κύριων στοιχείων) παρατίθενται στους πίνακες 8.2-8.7 για τα υπόγεια ύδατα και 8.8-8.14 για τα επιφανειακά ύδατα.

### 8.3 Επεξεργασία των στοιχείων

Για τη βέλτιστη κατανόηση των αποτελεσμάτων παράλληλα με τους πίνακες δημιουργήθηκαν ιστογράμματα για κάθε στοιχείο (ξεχωριστά ο μέσος όρος της ξηρής και ξεχωριστά ο μέσος της υγρής περιόδου) και οι στατιστικές παράμετροι. Τα διαγράμματα προέκυψαν με το πρόγραμμα Microsoft Excel ενώ οι στατιστικές παράμετροι και τα ιστογράμματα με το SPSS.

Οι περιγραφικές στατιστικές παράμετροι που έχουν χρησιμοποιηθεί είναι οι ακόλουθες:

- Ελάχιστη τιμή (min)
- Μέγιστη τιμή (max)

• Μέσος όρος ή μέσος αριθμητικός ή απλά μέσος  $\bar{X}$  είναι η παράμετρος που μετρά την κεντρική τάση και ισούται με το άθροισμα των παρατηρήσεων δια το πλήθος αυτών, δηλαδή

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n} = \frac{\sum X}{n}$$

• Τυπική απόκλιση (s.d.) είναι η τετραγωνική ρίζα της διακύμανσης κι η ερμηνεία της είναι πολύ πιο σημαντική απ' αυτή της διακύμανσης: όσο μικρότερη είναι η τιμή της τόσο μικρότερη είναι η διασπορά των τιμών. Η τιμή της τυπικής απόκλισης είναι πάντα θετική όπως και της διακύμανσης. Η διακύμανση ( $s^2$ ) είναι ο μέσος όρος των τετραγωνικών αποκλίσεων των τιμών απ' το μέσο όρο. Είναι ο κατεξοχήν τρόπος μέτρησης της διασποράς, λαμβάνοντας υπόψη όλες τις παρατηρήσεις. Ουσιαστικά μετράει τη συγκέντρωση των τιμών γύρω από το μέσο αριθμητικό και δίνεται απ' τον τύπο (Χαλικιάς, 2003):

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}$$

Η απεικόνιση της χωρικής κατανομής των στοιχείων στο χώρο (ισοπερικεκτικές καμπύλες) προέκυψε με τη βοήθεια του προγράμματος “Surfer 8” και “Didger 3” χρησιμοποιώντας τη μέθοδο παρεμβολής Kriging. Με τη μέθοδο αυτή επιτυγχάνεται αμερόληπτη και βέλτιστη εκτίμηση των μεταβλητών ενός μεγέθους σε θέσεις που δεν έχουν προσδιοριστεί πειραματικά, χρησιμοποιώντας τις ήδη υπάρχουσες τιμές του ίδιου μεγέθους. Η μεθοδολογία βασίζεται στις θεωρίες των πιθανοτήτων, δίνοντας βάρη λι ανάλογα με την θέση της εκτιμώμενης παραμέτρου, σε σχέση με την θέση των δεδομένων τιμών της ίδιας παραμέτρου. Η μέθοδος Kriging δίνει τα βάρη κατά τέτοιο τρόπο που να είναι μαθηματικά βέλτιστος.

Η γεωστατιστική εκτίμηση, είναι σημαντικό να βασιστεί στο βαριόγραμμα (ή διάγραμμα ημιδιασποράς), το βασικό διαγνωστικό εργαλείο για το χωρικό χαρακτηρισμό μιας μεταβλητής. Το βαριόγραμμα παρουσιάζει τη μεταβολή των δεδομένων με την απόσταση και κατά μήκος καθορισμένων διευθύνσεων. Μετά τον καθορισμό διαφόρων παραμέτρων, τα δεδομένα προσαρμόζονται σε καθένα από τα 11 μοντέλα βαριογραμμμάτων του προγράμματος κι επιλέγεται αυτό που προσεγγίζει καλύτερα το νέφος των σημείων (Burrough and McDonnell, 1998). Στην παρούσα έρευνα επιλέχθηκαν κυρίως το εκθετικό, το γραμμικό και το σφαιρικό μοντέλο, τα οποία έχει αποδειχθεί ότι περιγράφουν βαριογράμματα για ένα πλήθος εδαφολογικών ιδιοτήτων (Oliver 1984, Webster and Oliver 1990, Bai and Wang 2011, Abbas and Seyed 2011).

*Ανάλυση παραγόντων:* Με το πρόγραμμα SPSS έγινε ανάλυση παραγόντων (factor analysis) για την απόδοση ορισμένων στοιχείων σε ανθρωπογενείς δραστηριότητες ή φυσικές συνθήκες. Η ανάλυση παραγόντων παρατίθεται στο κεφάλαιο 8.9 για τα ύδατα και στο κεφάλαιο 7.10 για τα εδάφη. Η χωρική κατανομή των ομάδων παραγόντων βασίστηκε στα scores που δίνει το πρόγραμμα SPSS σε κάθε σημείο. Οι τιμές των scores έχουν μεγάλη σημαντικότητα όταν ξεπερνούν τη μονάδα.

Σε κάθε παραγοντική ανάλυση εξετάστηκε κατά πόσο ο δείκτης KMO (Kaiser-Meyer-Olkin) που εξετάζει την αρτιότητα των συσχετίσεων των παραμέτρων, ξεπερνάει την τιμή 0,5. Τιμή μεγαλύτερη του 0,5 δίνει ικανοποιητική ανάλυση παραγόντων. Ο αριθμός των παραγόντων επιλέχθηκε έτσι ώστε το σύνολο των ποσοστών διακυμάνσεων αυτών να ξεπερνούν το 70% σε κάθε παραγοντική ανάλυση, κι ο κάθε παράγων να εξηγεί ένα σημαντικό ποσοστό της ολικής διακύμανσης.

Για την καλύτερη εξέταση της ποιοτικής σύστασης των υπόγειων υδάτων έγινε ταξινόμηση αυτών βάσει του λιθολογικού σχηματισμού απ' τον οποίον προέρχονται. Η ταξινόμηση αφορά: α) σε νερά των τεταρτογενών σχηματισμών, στα οποία περιλαμβάνονται κυρίως ρηγά πηγάδια και οι πηγές Νο 71 και 94, β) σε νερά των νεογενών σχηματισμών, τα οποία περιλαμβάνουν ρηγά πηγάδια και γεωτρήσεις και γ) σε νερά των ανθρακικών σχηματισμών που αφορούν την πηγή Νο3, βαθιά πηγάδια και γεωτρήσεις που δεν εμφανίζουν την επίδραση της θάλασσας καθώς και νερά βαθιών γεωτρήσεων (No 40 και 72) και πηγαδιών (No 73), που το βάθος τους ξεπερνά κατά πολύ το επίπεδο της θάλασσας και που έχουν υφαλμिरιστεί έντονα.

Η ποιοτική σύνθεση των υδάτων κάθε λιθολογικού σχηματισμού απεικονίζεται στους πίνακες 8.2 έως 8.7 που ακολουθούν, όπου παρουσιάζονται οι μέσες τιμές των υγρών και ξηρών περιόδων που πραγματοποιήθηκαν οι δειγματοληψίες.

**Πίνακας 8.2:** Στατιστική επεξεργασία των μέσων τιμών των φυσικοχημικών και χημικών παραμέτρων των υπόγειων υδάτων που προέρχονται από τους Τεταρτογενείς σχηματισμούς (οι δειγματοληψίες της ξηρής περιόδου πραγματοποιήθηκαν τον Σεπτέμβριο του 2005 και τον ίδιο μήνα του 2006).

No	θερμοκ(T) νερού(°C)	EC μS/cm	pH	Σκληρότητα (°dH)			Κατιόντα (mg/l)					Ανιόντα (mg/l)					SiO <sub>2</sub> mg/l	TDS mg/l	Αλογόνα (mg/l)		
				ολ.	παρ.	μόν.	Ca	Mg	Na	K	NH <sub>4</sub>	HCO <sub>3</sub>	Cl	SO <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	PO <sub>4</sub>			Br	I	F
<b>Α) ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΞΗΡΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ</b>																					
24	19,20	330	7,7	5,51	4,62	0,89	31,20	4,95	7,00	4,00	0,05	100,6	5,32	33,60	2,20	0,06	8,4	198	0,07	0,11	0,24
2	18,9	2220	7,6	44,7	22,1	22,5	155,6	99,47	229,13	12,0	1,25	481,9	459,2	278,60	33,44	0,30	18,1	1774	0,11	0,18	0,54
7	19,4	2485	7,315	55,70	21,28	34,42	236,00	98,53	222,50	7,00	2,30	463,60	539,01	212,98	101,86	0,49	32,6	1923	0,01	0,02	0,47
14	18,75	2750	7,95	48,09	21,49	26,60	250,00	56,91	344,50	16,00	2,24	468,18	687,94	229,58	41,14	0,28	18,9	2116	0,04	0,07	0,57
15	18,85	1895	7,7	18,88	21,42	0,00	91,60	26,31	323,50	17,00	0,44	466,65	319,15	224,18	50,38	0,26	18,4	1538	0,03	0,05	0,52
17	17,9	1653	7,6	25,62	16,03	9,59	119,60	38,58	232,25	18,00	0,52	349,23	356,38	141,36	43,34	0,11	23,1	1324	0,03	0,06	0,97
22	19,9	3206,5	7,45	28,03	37,52	0,00	85,60	69,78	613,00	12,00	1,54	817,40	645,39	285,85	69,74	0,26	23,9	2626	0,08	0,12	0,85
25	18,9	1761,5	7,6	35,96	20,86	15,10	154,00	62,59	184,50	7,00	1,66	454,45	326,24	214,23	31,35	0,16	16,9	1454	0,03	0,05	0,45
29	18	1833	7,45	22,13	11,20	10,93	108,80	30,01	78,00	10,00	0,84	244,00	120,57	229,00	53,02	0,13	27,4	902	0,05	0,11	0,48
46	20,75	426,5	7,725	16,74	16,52	0,22	79,20	24,58	15,94	3,45	0,84	359,90	14,18	21,00	10,12	0,18	19,1	549	0	0	0,35
58	20,6	3250	7,27	77,75	24,08	53,67	284,80	164,70	117,00	6,00	2,93	524,60	875,89	256,75	113,52	0,14	29,8	2377	0,02	0,04	0,46
71	15,5	880	7,73	37,30	27,16	10,14	134,40	80,38	50,00	6,00	0,62	591,70	120,57	128,55	9,68	0,35	24,5	1147	0,04	0,07	0,49
87	19,5	1621	7,46	30,56	23,80	6,76	128,80	54,48	158,40	7,00	1,01	518,50	180,85	227,35	59,40	0,18		1336			
88	17,5	1729	7,5	29,89	21,28	8,61	153,60	36,45	185,90	8,00	0,71	463,60	244,68	277,20	40,48	0,12		1411			
94	18,3	2200	7,4	45,96	21,14	24,82	182,40	88,78	230,00	5,40	2,33	460,55	439,72	258,50	47,96	0,18		1716			
M.O.	18,77	1994	7,55	36,95	21,85	15,96	154,60	66,54	213,19	9,63	1,37	476,02	380,70	213,22	50,39	0,22	22,97	1585	0,04	0,07	0,56
MIN	15,50	427	7,27	16,74	11,20	0,00	79,20	24,58	15,94	3,45	0,44	244,00	14,18	21,00	9,68	0,11	16,90	549	0,00	0,00	0,35
MAX	20,75	3250	7,95	77,75	37,52	53,67	284,80	164,70	613,00	18,00	2,93	817,40	875,89	285,85	113,52	0,49	32,60	2626	0,11	0,18	0,97
S.D.	1,34	788	0,18	16,49	5,95	15,18	63,41	38,32	148,81	4,66	0,80	129,70	244,92	72,17	29,44	0,11	5,25	560	0,03	0,05	0,18
ΠΛΗΘΟΣ	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	11	14	11	11	11

**Πίνακας 8.3:** Στατιστική επεξεργασία των μέσων τιμών των φυσικοχημικών και χημικών παραμέτρων των υπόγειων υδάτων που προέρχονται από τους Τεταρτογενείς σχηματισμούς (Οι δειγματοληψίες της υγρής περιόδου πραγματοποιήθηκαν τον Μάρτιο του 2006 και τον ίδιο μήνα του 2007).

No	θερμοκ(T) νερού(°C)	EC μS/cm	pH	Σκληρότητα (°dH)			Κατιόντα (mg/l)					Ανιόντα (mg/l)					SiO <sub>2</sub> mg/l	TDS mg/l
				ολ.	παρ.	μόν.	Ca	Mg	Na	K	NH <sub>4</sub>	HCO <sub>3</sub>	Cl	SO <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	PO <sub>4</sub>		
<b>B) ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΥΓΡΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ</b>																		
2	20	1848	8	40,00	21,14	18,86	152,80	80,90	235,20	8,40	2,26	460,55	368,79	211,25	26,40	0,39	18,1	1565
7	18,15	2785	7,45	63,93	22,82	41,11	236,40	134,07	288,25	7,05	3,97	497,15	604,61	306,00	137,94	0,52	20,3	2236
14	17,2	2560	7,425	41,57	19,95	21,62	208,40	53,90	321,50	24,10	1,10	434,63	620,57	220,35	73,70	0,46	18,4	1977
15	19,1	1914	7,5	26,91	17,92	8,99	133,60	35,68	305,00	12,00	0,57	390,40	166,67	460,40	65,56	0,26	23,1	1593
17	18,6	1492	7,55	22,13	17,78	4,35	105,60	31,96	253,70	13,25	0,52	387,35	244,68	182,05	68,20	0,19	22,4	1310
22	17,2	3520	7,7	30,11	36,68	0,00	88,00	77,36	770,00	24,00	1,11	799,10	794,33	358,90	91,96	0,35	27,7	3033
29	18,65	1803	7,345	35,45	22,54	12,91	139,20	69,40	288,30	9,15	1,50	491,05	347,52	239,13	33,00	0,18	38	1656
71	17,25	453,5	7,6	14,21	13,51	0,70	88,40	7,99	28,00	3,05	0,10	294,33	22,16	40,65	13,64	0,12		498
87	18,25	2046	7,5	36,18	26,53	9,65	145,00	69,04	317,20	32,50	1,63	577,98	273,05	418,78	57,20	0,34		1893
88	18,25	1460	7,3	27,64	23,38	4,26	143,60	32,77	341,65	2,53	0,66	509,35	219,86	360,75	38,28	0,20		1650
94	17,9	1982	7,3	38,88	20,44	18,44	170,40	65,31	142,00	3,20	2,15	445,30	258,87	225,00	41,80	0,09		1354
M.O.	18,23	1988	7,52	34,27	22,06	12,81	146,49	59,85	299,16	12,66	1,41	480,65	356,46	274,84	58,88	0,28	24,00	1706
min	17,20	454	7,30	14,21	13,51	0,00	88,00	7,99	28,00	2,53	0,10	294,33	22,16	40,65	13,64	0,09	18,10	498
max	20,00	3520	8,00	63,93	36,68	41,11	236,40	134,07	770,00	32,50	3,97	799,10	794,33	460,40	137,94	0,52	38,00	3033
S.D.	0,86	791	0,20	12,87	5,94	11,94	46,07	33,59	181,38	10,00	1,09	129,39	227,75	120,33	34,91	0,14	6,99	627
πλήθος	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	7	11

**Πίνακας 8.4:** Στατιστική επεξεργασία των μέσων τιμών των φυσικοχημικών και χημικών παραμέτρων των υπόγειων υδάτων που προέρχονται από τους Νεογενείς σχηματισμούς (οι δειγματοληψίες της ξηρής περιόδου πραγματοποιήθηκαν τον Σεπτέμβριο του 2005 και τον ίδιο μήνα του 2006).

No	θερμοκ(T) νερού(°C)	EC μS/cm	pH	Σκληρότητα (°dH)			Κατιόντα (mg/l)					Ανιόντα (mg/l)					SiO <sub>2</sub> mg/l	TDS mg/l	Αλογόνα (mg/l)		
				ολ.	παρ.	μόν.	Ca	Mg	Na	K	NH <sub>4</sub>	HCO <sub>3</sub>	Cl	SO <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	PO <sub>4</sub>			Br	I	F
<b>A) ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΞΗΡΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ</b>																					
4	18,4	2936	7,14	61,24	25,06	36,18	214,80	135,50	272,00	6,50	0,27	545,95	700,35	258,00	82,50	0,30	25,1	2252	0,01	0,01	0,38
18	20,6	1205	7,5	19,66	19,88	0,00	120,00	12,45	140,00	6,00	0,23	433,10	154,26	101,75	38,06	0,10	18,5	1025	0,07	0,13	0,31
19	18,9	1925,5	7,35	23,99	24,78	0,00	128,80	25,90	292,00	11,50	0,59	539,85	361,70	152,00	52,36	0,14	22,4	1588	0,05	0,06	0,47
20	19,5	2340	7,3	16,63	10,36	6,27	76,00	26,04	167,00	16,00	0,60	225,70	294,33	177,50	20,90	0,25	18,7	1024	0,05	0,07	0,54
21	18,7	1892,5	7,65	23,71	25,41	0,00	106,40	38,31	293,20	11,00	0,52	553,58	328,01	164,13	53,90	0,28	73,5	1624	0,05	0,09	0,79
23	19,6	2630	7,2	24,04	11,06	12,98	95,20	46,60	157,00	8,00	1,24	240,95	347,52	178,15	20,46	0,09	27,7	1123	0,04	0,07	0,42
26	17,45	1560,5	7,4	37,78	21,00	16,78	173,80	58,47	124,25	5,75	1,59	457,50	240,25	189,53	60,72	0,15	27,7	1340	0,05	0,06	0,52
31	21,15	1133,5	7,91	22,30	22,82	0,00	91,60	41,21	111,40	26,00	0,80	497,15	108,16	108,20	41,80	0,23	38	1065	0,06	0,11	0,45
32	18,9	1180	7,4	16,35	9,38	6,97	81,60	21,41	31,00	6,00	0,50	204,35	69,15	139,65	28,38	0,03	17,3	600	0,07	0,07	0,39
36	18,9	1162	7,3	16,52	7,84	8,68	81,60	22,14	23,00	4,00	0,40	170,80	69,15	168,15	32,78	0,21	27,4	600	0,05	0,12	0,43



No	θερμοκ(T)	EC μS/cm	pH	Σκληρότητα (°dH)			Κατιόντα (mg/l)					Ανιόντα (mg/l)					SiO <sub>2</sub> mg/l	TDS mg/l	Αλογόνα (mg/l)		
	νερού(°C)			ολ.	παρ.	μόν.	Ca	Mg	Na	K	NH <sub>4</sub>	HCO <sub>3</sub>	Cl	SO <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	PO <sub>4</sub>			Br	I	F
<b>Α) ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΞΗΡΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ (συνέχεια)</b>																					
37	18,75	991,5	7,39	29,44	13,51	15,93	160,00	30,60	31,10	4,00	0,69	294,33	70,04	134,00	102,74	0,16	13,6	842	0,04	0,09	0,29
38	18,4	1094	7,475	33,37	13,51	19,86	177,20	37,23	35,70	6,00	0,95	294,33	70,92	196,03	114,84	0,10	12,6	947	0,05	0,09	0,8
39	19,25	2974,5	7,455	73,48	16,52	56,96	312,40	129,34	233,50	43,25	3,21	359,90	648,94	392,88	154,66	0,16	25,5	2305	0,06	0,11	0,68
41	18,9	2434	7,925	37,58	20,79	16,79	93,20	106,68	313,00	8,50	0,36	452,93	620,57	228,68	6,60	1,90	18,6	1852	0,17	0,27	0,57
43	16,8	1932	7,65	18,76	14,14	4,62	72,40	37,51	118,00	12,00	0,39	308,05	230,50	134,25	16,50	0,18	20,1	950	0,03	0,03	0,38
44	18,4	1862	7,98	24,33	24,08	0,25	98,40	45,87	112,50	20,00	4,58	524,60	173,76	197,25	6,60	3,30	37	1225	0,26	0,41	0,58
48	18,2	1303	7,36	14,72	17,22	0,00	67,60	22,85	77,00	6,00	0,32	375,15	62,06	136,85	22,88	0,78	23,7	796	0,03	0,05	0,55
49	19	1898	8,53	24,16	5,88	18,28	96,00	46,60	49,00	7,00	1,17	128,10	113,48	258,65	118,80	0,28	22,2	842	0,08	0,13	0,44
50	17,9	1101	7,27	15,39	14,63	0,76	60,80	29,92	48,00	18,00	0,29	318,73	47,87	129,15	17,60	0,16	20,2	691	0,01	0,02	0,49
51	17,6	1719	7,21	26,46	12,11	14,35	136,40	32,02	24,00	6,00	1,94	263,83	69,15	265,50	125,40	0,17	18	943	0,01	0,01	0,3
52	18,3	1061	7,22	17,75	12,18	5,57	74,00	32,14	18,00	8,00	0,97	265,35	35,46	180,50	32,12	0,10	15,1	662	0,02	0	0,24
53	14,6	2240	7,31	28,88	17,01	11,87	108,40	59,57	83,00	4,00	2,23	370,58	150,71	281,00	115,28	0,20	22,6	1198	0,01	0,01	0,42
54	18,1	4430	7,58	42,36	12,74	29,62	134,00	102,61	229,00	12,00	2,21	277,55	700,35	304,75	15,18	0,25	24,9	1804	0,02	0,03	0,79
55	19,25	1783	7,715	43,68	30,80	12,88	122,40	115,41	181,71	9,50	2,22	671,00	237,59	280,93	42,46	0,32	32	1696	0,01	0,01	0,56
56	20,9	1469	7,39	22,53	15,26	7,27	89,20	43,65	62,00	4,00	0,79	332,45	117,91	263,00	16,94	0,13	22,7	953	0,01	0,01	0,54
57	19,6	2610	7,76	54,33	25,90	28,43	200,00	114,46	138,00	10,00	2,64	564,25	673,76	279,00	51,92	0,11	17,8	2053	0,09	0,14	0,61
59	18,05	3305	7,295	82,70	18,76	63,94	492,40	59,83	202,15	9,00	3,97	408,70	540,78	577,90	399,30	0,19	22,6	2718	0,03	0,05	0,65
60	18,05	1833	7,71	49,44	26,32	23,12	216,40	83,23	107,70	7,50	2,13	573,40	281,91	207,25	95,26	0,18	21,8	1597	0,08	0,13	0,46
61	18,2	1612	7,4	42,13	29,96	12,17	114,40	113,56	72,00	6,00	1,55	652,70	258,87	229,25	42,24	0,27	31,6	1523	0,04	0,05	0,59
62	17,2	1402,5	7,52	37,53	23,94	13,59	120,80	89,64	100,00	7,00	1,50	521,55	225,18	122,03	42,68	0,24	29,9	1261	0,09	0,14	0,39
63	17,2	2020	8,05	30,22	19,88	10,34	81,60	81,74	145,00	6,00	1,12	433,10	471,63	235,25	34,32	0,26	15,5	1507	0,09	0,14	1,21
64	18,5	2790	7,26	26,18	11,41	14,77	116,00	43,22	154,00	6,00	1,04	248,58	368,79	275,65	27,94	0,39	38	1280	0,04	0,08	0,65
65	17,55	3025	8,49	36,69	32,62	4,07	92,00	103,50	417,00	126,00	1,68	710,65	627,66	418,98	10,12	0,85	14,7	2524	0,16	0,25	0,83
66	19,1	1225	7,11	17,89	11,34	6,55	80,40	28,86	34,00	6,00	0,39	247,05	88,65	177,15	17,60	0,16	23,4	704	0,08	0,12	0,42
67	20,5	3105	7,42	57,30	29,82	27,48	137,60	165,39	358,33	9,50	3,05	649,65	686,17	312,15	77,22	0,29	38,3	2439	0,08	0,13	0,95
68	12,5	981	7,6	10,56	6,86	3,70	42,40	20,11	40,00	12,00	0,32	149,45	79,79	130,80	24,64	0,15	13,6	514	0,07	0,11	0,34
69	18,05	1625,5	7,58	40,28	29,68	10,60	82,00	125,22	135,04	9,00	1,85	646,60	239,36	202,58	30,58	0,30	35,7	1509	0,07	0,11	0,65
74	18,90	2220	7,65	30,22	19,60	10,62	183,20	19,90	110,00	10,00	2,71	427,00	177,30	120,00	75,24	0,19		1126			
75	19,5	1046	7,74	26,18	17,78	8,40	164,80	13,51	72,80	5,00	0,36	387,35	132,98	80,15	44,44	0,14		902			
76	18,9	2880	7,4	48,54	21,42	27,12	208,00	84,43	404,20	12,00	1,92	466,65	730,50	175,60	53,68	0,33		2137			
77	18,8	2100	7,78	42,92	22,12	20,80	132,80	105,78	238,40	9,00	2,30	481,90	425,53	225,90	39,60	0,23		1661			
80	18	1401	7,35	37,53	28,28	9,25	104,00	99,86	69,90	4,00	1,74	616,10	129,43	163,00	44,00	0,45		1232			
81	19,3	2250	7,85	38,43	22,12	16,31	94,40	109,61	273,00	7,00	2,15	481,90	482,27	144,30	57,64	0,15		1652			
82	18,9	2280	7,48	52,58	21,00	31,58	206,40	102,99	224,80	4,00	3,62	457,50	439,72	240,70	120,12	0,13		1800			
83	20	1748	7,49	31,91	15,40	16,51	145,60	50,11	168,00	9,00	1,16	335,50	320,92	172,50	88,00	0,17		1291			
84	19,9	2050	7,78	43,82	27,58	16,24	84,80	138,91	216,71	10,00	2,67	600,85	390,07	175,50	19,80	0,17		1639			
85	19,8	1831	7,6	36,63	21,56	15,07	130,40	79,88	210,00	11,00	1,61	469,70	382,98	72,85	72,60	0,16		1431			

No	θερμοκ(T)	EC	pH	Σκληρότητα (°dH)			Κατιόντα (mg/l)					Ανιόντα (mg/l)					SiO <sub>2</sub>	TDS	Αλογόνα (mg/l)		
	νερού(°C)	μS/cm		ολ.	παρ.	μόν.	Ca	Mg	Na	K	NH <sub>4</sub>	HCO <sub>3</sub>	Cl	SO <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	PO <sub>4</sub>	mg/l	mg/l	Br	I	F
<b>A) ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΞΗΡΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ (συνέχεια)</b>																					
89	18,5	1437	7,2	36,97	20,16	16,81	185,60	47,75	113,60	9,00	0,79	439,20	283,69	50,90	28,60	0,18		1159			
93	17,8	1014	7,88	26,74	9,66	17,08	134,40	34,46	42,50	1,20	0,65	210,45	74,47	166,80	129,80	0,21		795			
95	19	2035	7,35	41,57	21,00	20,57	140,00	95,53	184,00	0,10	0,36	457,50	354,61	227,50	66,44	0,19		1526			
96	17,1	1660	7,85	32,25	21,56	10,69	99,20	79,82	152,20	10,00	1,33	469,70	248,23	201,05	44,44	0,19		1306			
M.O.	17,1	1660	7,85	32,25	21,56	10,69	99,20	79,82	152,20	10,00	1,33	469,70	248,23	201,05	44,44	0,19		1306			
min	18,54	1917	7,55	33,86	19,09	14,88	132,58	66,50	149,21	11,46	1,44	415,94	296,81	204,02	60,37	0,32	25,08	1358	0,06	0,09	0,54
max	12,50	981	7,11	10,56	5,88	0,00	42,40	12,45	18,00	0,10	0,23	128,10	35,46	50,90	6,60	0,03	12,60	514	0,01	0,00	0,24
S.D.	21,15	4430	8,53	82,70	32,62	63,94	492,40	165,39	417,00	126,00	4,58	710,65	730,50	577,90	399,30	3,30	73,50	2718	0,26	0,41	1,21
πλήθος	1,41	729	0,31	15,00	6,82	12,84	72,37	39,92	101,35	17,65	1,06	148,56	208,53	91,70	60,91	0,51	10,99	534	0,05	0,08	0,20

**Πίνακας 8.5:** Στατιστική επεξεργασία των μέσων τιμών των φυσικοχημικών και χημικών παραμέτρων των υπόγειων υδάτων που προέρχονται από τους Νεογενείς σχηματισμούς (Οι δειγματοληψίες της υγρής περιόδου πραγματοποιήθηκαν τον Μάρτιο του 2006 και τον ίδιο μήνα του 2007).

No	θερμοκ(T)	EC	pH	Σκληρότητα (°dH)			Κατιόντα (mg/l)					Ανιόντα (mg/l)					SiO <sub>2</sub>	TDS
	νερού(°C)	μS/cm		ολ.	παρ.	μόν.	Ca	Mg	Na	K	NH <sub>4</sub>	HCO <sub>3</sub>	Cl	SO <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	PO <sub>4</sub>	mg/l	mg/l
<b>B) ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΥΓΡΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ</b>																		
4	18,5	1780	7,4	39,78	21,84	17,94	155,20	78,47	210,00	4,00	1,78	475,80	312,06	207,95	74,36	0,24		1520
18	20,6	1205	7,5	16,97	17,36	0,00	96,00	15,33	140,00	6,00	0,19	378,20	148,94	95,20	38,28	0,21		918
19	19,1	1819	7,3	19,33	29,54	0,00	100,00	23,16	332,00	16,00	0,43	643,55	255,32	99,80	95,92	0,25		1566
20	19,5	2340	7,3	27,98	19,04	8,94	129,60	42,75	252,00	14,00	1,14	414,80	315,60	182,00	63,80	0,34		1416
21	19,2	2295	7,365	33,85	21,84	12,01	158,80	50,51	362,50	4,53	0,86	475,80	498,23	263,13	60,94	0,85		1876
26	15,5	1641	7,3	38,88	21,35	17,53	170,80	65,06	156,00	5,00	1,81	465,13	250,00	208,13	72,82	0,76		1395
31	20,9	1267,5	7,57	12,92	11,90	1,02	50,00	25,74	67,60	24,15	0,55	259,25	74,47	135,40	24,20	0,41		662
37	19,1	1015	7,35	30,34	14,77	15,57	164,00	32,07	76,85	3,25	0,76	321,78	125,89	139,85	106,92	0,16		972
38	18,25	1315	7,28	39,89	15,68	24,21	208,20	46,69	50,40	3,05	1,60	341,60	85,11	228,70	157,52	0,31		1123
39	14	2110	7,65	18,88	7,49	11,39	91,20	26,56	160,00	1,00	0,62	163,18	106,38	335,00	49,94	0,17		934
41	17	3260	7,4	51,40	27,09	24,31	86,80	170,66	555,00	1,50	2,13	590,18	852,84	443,40	30,36	0,20		2733
44	17	1803	7,6	41,12	32,76	8,36	192,00	61,93	255,00	44,00	2,33	713,70	319,15	212,35	13,20	1,55		1815
55	16,25	1827,5	7,39	50,22	22,54	27,68	175,60	111,48	262,30	4,10	2,68	491,05	308,51	501,25	32,78	0,18		1890
59	16,8	3675	7,4	107,47	15,54	91,93	542,80	136,87	204,50	4,10	4,45	338,55	666,67	541,25	427,90	0,83		2868
60	16,65	1760	7,4	48,99	24,15	24,84	217,20	80,79	158,50	2,95	2,56	526,13	258,87	229,50	119,02	0,22		1596
62	16,75	1424,5	8,05	36,18	22,40	13,78	121,60	83,29	149,70	6,10	1,63	488,00	232,27	143,50	47,74	0,33		1274
65	16,5	1968,5	7,11	22,67	22,96	0,00	78,20	50,96	298,75	185,15	1,72	500,20	377,66	344,70	12,54	1,72		1852
67	19,45	3160	7,6	58,37	28,14	30,23	142,20	167,23	440,60	8,63	3,10	613,05	753,55	290,45	80,74	0,32		2500
69	16,4	1504	7,14	36,18	28,35	7,83	74,80	111,77	196,80	5,53	1,81	617,63	210,99	206,25	24,86	0,33		1451
74	16,5	1973	7,3	30,79	20,09	10,70	182,80	22,58	117,50	11,00	0,57	437,68	176,42	104,50	62,04	0,21		1115
75	17,4	1207,5	7,15	30,67	21,21	9,46	196,00	14,06	124,20	8,10	0,92	462,08	163,12	115,68	44,88	0,18		1129

No	θερμοκ(T)	EC	pH	Σκληρότητα (°dH)			Κατιόντα (mg/l)					Ανιόντα (mg/l)					SiO <sub>2</sub>	TDS	
	νερού(°C)	μS/cm		ολ.	παρ.	μόν.	Ca	Mg	Na	K	NH <sub>4</sub>	HCO <sub>3</sub>	Cl	SO <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	PO <sub>4</sub>	mg/l	mg/l	
<b>B) ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΥΓΡΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ (συνέχεια)</b>																			
76	19	2780	7,89	47,64	22,12	25,52	210,40	79,06	448,00	4,00	2,70	481,90	758,87	234,15	45,32	0,29		2265	
77	16,15	1955	7,33	44,78	23,10	21,68	132,80	113,84	297,75	5,05	2,88	503,25	460,99	256,50	43,78	0,29		1817	
80	17,5	1404,5	7,5	37,87	30,66	7,21	122,40	90,13	161,10	5,05	4,93	667,95	118,79	150,65	88,66	2,22		1412	
81	17,75	2300	7,2	39,72	25,62	14,10	96,80	113,77	377,35	9,15	2,23	558,15	526,60	203,90	60,72	0,22		1949	
82	19	2120	7,325	51,91	22,05	29,86	204,80	101,04	245,00	4,00	2,48	480,38	434,40	244,63	106,92	0,17		1824	
83	18,9	2340	7,6	45,84	21,98	23,86	201,60	76,60	309,30	38,70	1,70	478,85	468,09	305,50	127,16	0,30		2008	
84	19	2012,5	7,625	44,10	27,58	16,52	87,20	138,67	280,10	5,10	2,49	600,85	423,76	192,23	22,88	0,17		1753	
85	18,25	1837,5	7,4	34,66	21,70	12,96	119,20	78,15	253,50	3,05	1,59	472,75	358,16	133,83	64,02	0,17		1484	
89	18	1318	8,07	37,75	20,72	17,03	170,40	60,42	100,00	8,00	1,23	451,40	262,41	62,00	26,40	0,22		1142	
93	18	1370	7,35	45,17	16,24	28,93	228,00	57,60	84,40	7,35	2,04	353,80	131,21	236,10	231,44	0,19		1332	
95	18	1998	7,67	44,94	20,16	24,78	139,20	110,68	162,00	0,80	0,18	439,20	312,06	258,00	96,80	0,22		1519	
96	17	1475	7,5	31,91	20,72	11,19	97,60	79,33	182,00	4,00	1,96	451,40	276,60	212,00	66,88	0,33		1372	
M.O.	17,82	1917	7,46	39,37	21,78	17,92	155,88	76,28	226,38	13,83	1,82	474,46	334,06	227,80	79,45	0,44		1590	
min	14,00	1015	7,11	12,92	7,49	0,00	50,00	14,06	50,40	0,80	0,18	163,18	74,47	62,00	12,54	0,16		662	
max	20,90	3675	8,07	107,47	32,76	91,93	542,80	170,66	555,00	185,15	4,93	713,70	852,84	541,25	427,90	2,22		2868	
S.D.	1,49	618	0,23	16,33	5,37	16,03	84,74	42,07	119,33	32,24	1,10	116,99	202,35	110,55	77,26	0,49		509	
πλήθος	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33

**Πίνακας 8.6:** Στατιστική επεξεργασία των μέσων τιμών των φυσικοχημικών και χημικών παραμέτρων των υπόγειων υδάτων που προέρχονται από τους Ανθρακικούς σχηματισμούς (οι δειγματοληψίες της ξηρής περιόδου πραγματοποιήθηκαν τον Σεπτέμβριο του 2005 και τον ίδιο μήνα του 2006).

No	Θερμ.(T)	EC	pH	Σκληρότητα (°dH)			Κατιόντα (mg/l)					Ανιόντα (mg/l)					SiO <sub>2</sub>	TDS	Αλογόνα (mg/l)		
	νερού(°C)	μS/cm		ολ.	παρ.	μόν.	Ca	Mg	Na	K	NH <sub>4</sub>	HCO <sub>3</sub>	Cl	SO <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	PO <sub>4</sub>	mg/l	mg/l	Br	I	F
<b>A) ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΞΗΡΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ</b>																					
3	18,65	1888	7,195	40,45	19,88	20,57	164,80	75,55	186,47	8,50	0,74	433,10	322,70	233,85	54,34	0,70	0,01	1481	0,01	0,21	0,017
13	19,45	918,5	7,2	25,11	19,11	6,00	156,00	14,23	48,65	8,00	0,37	416,33	81,56	87,70	30,58	0,06	10,1	1054	0,04	0,05	0,2
16	18,8	743	8,2	8,20	4,62	3,58	45,60	7,91	28,00	8,00	0,12	100,65	56,74	101,00	13,20	0,13	19	552	0,05	0,08	0,41
27	18,2	297	8,045	7,84	7,14	0,70	46,40	5,83	19,90	5,00	0,25	155,55	24,82	21,97	13,42	0,32	16,1	371	0,06	0,1	0,47
28	17,5	920	7,45	35,45	20,16	15,29	150,80	62,34	95,00	11,50	1,48	439,20	156,03	137,90	82,06	0,18	60,6	1574	0,06	0,08	0,31
30	18,2	940	7,5	14,72	8,26	6,46	47,20	35,27	17,00	22,00	0,52	179,95	40,78	102,50	38,28	0,19	70,5	736	0,05	0,13	0,32
33	19	987	7,3	27,58	17,92	9,66	157,60	24,00	43,00	8,00	0,55	390,40	93,97	103,55	53,24	0,06	18,05	1144	0,02	0,03	0,35
34	18,35	928,5	7,39	23,37	19,46	3,91	136,40	18,59	71,25	6,25	0,47	423,95	49,65	112,98	52,58	0,11	17,1	1105	0,06	0,1	0,28
35	18	951	7,3	12,36	9,10	3,26	67,20	12,83	31,00	6,00	0,28	198,25	39,01	143,60	18,70	0,09	23	742	0,03	0,07	0,44
40	18,5	3240	7,65	76,40	26,74	49,66	137,60	248,44	274,00	6,00	0,48	582,55	780,14	294,75	102,08	4,00	34,1	3646	0,13	0,22	0,8
42	18,6	951	7,595	26,97	19,67	7,30	111,60	49,31	54,57	4,50	0,25	428,53	101,06	140,75	14,85	0,19	20,8	1184	0	0	0,36
45	18,6	997	7,24	13,65	21,84	0,00	134,40	36,90	43,00	4,00	1,08	475,80	99,29	141,40	27,28	0,26	20,6	1253	0,01	0,01	0,35

47	21,5	745	7,23	12,42	10,78	1,64	55,60	20,14	19,00	6,00	0,20	234,85	30,14	104,70	2,86	0,36	23,8	636	0,09	0,14	0,37
70	25	1470	7,14	31,12	29,12	2,00	161,60	36,95	178,00	11,00	0,76	634,40	255,32	127,05	44,00	0,24	19,4	1896	0	0	0,74
72	18,10	3150	7,4	63,60	19,88	43,72	204,80	151,84	400,00	12,00	3,90	433,10	858,16	240,00	92,40	0,21		3587			
73	18,2	3400	7,51	65,39	25,48	39,91	244,80	135,31	450,50	12,00	4,21	555,10	829,79	295,00	58,08	0,15		3768			
86	19,5	979	7,53	25,84	16,52	9,32	123,20	37,37	49,70	4,00	0,55	359,90	97,52	13,25	95,04	0,14		987			
90	18,5	675	8,1	16,74	12,88	3,86	74,40	27,50	54,00	1,50	0,66	280,60	88,65	26,00	46,20	0,27		761			
91	19,8	1203	7,4	47,42	19,88	27,54	142,40	119,48	18,00	4,00	0,50	433,10	145,39	210,00	63,80	0,21		1556			
92	18,9	917	8	21,35	15,12	6,23	102,40	30,49	191,00	5,00	0,48	329,40	326,24	118,50	31,68	0,19		1612			
M.O.	19,07	1315	7,52	29,80	17,18	13,03	123,24	57,51	113,60	7,66	0,89	374,24	223,85	137,82	46,73	0,40	25,23	1513	0,04	0,09	0,39
min	17,50	297	7,14	7,84	4,62	0,00	45,60	5,83	17,00	1,50	0,12	100,65	24,82	13,25	2,86	0,06	0,01	371	0,00	0,00	0,02
max	25,00	3400	8,20	76,40	29,12	49,66	244,80	248,44	450,50	22,00	4,21	634,40	858,16	295,00	102,08	4,00	70,50	3768	0,13	0,22	0,80
S.D.	1,63	895	0,32	19,76	6,64	15,22	54,72	61,59	128,66	4,49	1,13	144,73	273,00	80,85	29,19	0,86	18,74	1030	0,04	0,07	0,20
πλήθος	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	14	20	14	14	14

Πίνακας 8.7: Στατιστική επεξεργασία των μέσων τιμών των φυσικοχημικών και χημικών παραμέτρων των υπόγειων υδάτων που προέρχονται από τους Ανθρακικούς σχηματισμούς (οι δειγματοληψίες της υγρής περιόδου πραγματοποιήθηκαν τον Μάρτιο του 2006 και τον ίδιο μήνα του 2007).

No	θερμοκ(T) νερού(°C)	EC μS/cm	pH	Σκληρότητα (°dH)			Κατιόντα (mg/l)					Ανιόντα (mg/l)				SiO <sub>2</sub> mg/l	TDS mg/l	
				ολ.	παρ.	μόν.	Ca	Mg	Na	K	NH <sub>4</sub>	HCO <sub>3</sub>	Cl	SO <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>			PO <sub>4</sub>
<b>Β) ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΥΓΡΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ</b>																		
3	18,45	1702	7,3	38,65	19,32	19,33	153,60	74,56	159,90	11,15	1,44	420,90	250,00	231,28	47,08	0,22	21	1371
13	18,5	932	7,35	25,34	20,51	4,83	164,00	10,34	84,45	3,05	0,35	446,83	86,88	91,45	38,50	0,10	18,9	945
27	17,25	361,5	7,775	8,65	7,70	0,95	51,20	6,45	29,45	4,10	0,11	167,75	23,05	28,27	16,50	0,31	13,6	341
30	18	932	7,8	28,09	19,32	8,77	86,40	69,54	76,00	4,00	0,92	420,90	78,01	95,90	76,56	0,37	18,6	927
34	18	966	7,4	23,48	23,73	0,00	146,00	13,23	118,50	7,00	0,36	516,98	56,74	91,00	53,90	0,13	23,8	1028
42	17,75	1053,5	7,65	28,31	17,78	10,53	131,60	43,00	88,00	3,58	0,35	387,35	104,61	183,65	24,44	0,24		967
47	17	700	7,36	19,21	15,12	4,09	112,00	15,36	70,00	4,00	0,12	329,40	67,38	83,00	18,48	0,16		700
72	18,9	3060	7,2	64,27	21,35	42,92	206,00	154,04	406,00	15,50	3,81	465,13	858,16	262,13	85,36	0,30		2456
73	18,4	3515	7,2	66,74	25,69	41,05	258,40	132,89	491,45	2,25	4,00	559,68	932,62	347,30	61,60	0,21		2790
86	20,5	962,5	7,7	25,42	18,83	6,59	126,00	33,83	63,95	6,10	0,56	410,23	98,40	16,41	75,46	0,23		831
90	18	648	7,2	16,74	13,16	3,58	73,80	27,87	60,00	1,50	0,39	286,70	86,88	29,13	32,12	0,27		599
91	19,4	1173	7,125	45,51	20,72	24,79	144,00	110,20	31,00	5,50	0,40	451,40	156,03	201,40	50,60	0,22		1151
92	19	877	7,3	25,84	16,52	9,32	122,40	37,86	110,20	2,10	0,85	359,90	109,93	159,75	32,12	1,00		936
M.O.	18,40	1299	7,41	32,02	18,44	13,60	136,57	56,09	137,61	5,37	1,05	401,78	223,75	140,05	47,13	0,29	19,18	1157
min	17,00	362	7,13	8,65	7,70	0,00	51,20	6,45	29,45	1,50	0,11	167,75	23,05	16,41	16,50	0,10	13,60	341
max	20,50	3515	7,80	66,74	25,69	42,92	258,40	154,04	491,45	15,50	4,00	559,68	932,62	347,30	85,36	1,00	23,80	2790
S.D.	0,92	939	0,24	17,42	4,64	14,39	54,42	48,98	143,47	3,96	1,32	101,13	303,38	100,95	22,72	0,22	3,75	701
πλήθος	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	5	13

**Πίνακας 8.8:** Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων του επιφανειακού νερού του Μεγάλου Ρέματος στη Θέση Ραφ.1 (No 8)

Παράμετρος	Οκτώβριος 2005	Νοέμβριος 2005	Δεκέμβριος 2005	Ιανουάριος 2006	Φεβρουάριος 2006	Μάρτιος 2006	Απρίλιος 2006	Μάιος 2006	Ιούνιος 2006	Ιούλιος 2006	Αύγουστος 2006	Σεπτέμβριος 2006	Οκτώβριος 2006	Μάρτιος 2007	πλήθος	min	max	average	s.d.
Q (l/s)	0,227	0,102	3,154	0,282	0,027	0,293	0,234	0,086	0,151	0,134	0,118	1,019	0,252	0,296	14	0,0	3,2	0,5	0,8
T (°C)	24,6	14,4		11,3	15,5	20,2	20,7	20,7	25,0	25,0	25,0		17,1		11	11,3	25,0	20,0	4,8
EC (μS/cm)	1530	1672	1542	1614	1235	1261	1340	1528	1610	819	1879	1589	1827	1457	14	819	1879	1493	268
pH	7,9	8,1	7,8	8,4	8,3	8,2			8,1	7,6	7,2	7,7	8,1	7,6	12	7,2	8,4	7,9	0,3
ανάλυση KMnO4 (mg/l)	5,5	5,2													2	5,2	5,5	5,4	0,2
ΟΣ (°dH)	30,9	32,5	30,9	26,7	26,1	26,4	28,2	40,7	30,9	31,9	32,1	29,9	31,7	28,3	14	26,1	40,7	30,5	3,7
ΠΣ (°dH)	15,7	21,6	21,6	19,6	18,5	16,4	17,6	17,6	18,2	18,8	20,4	18,1	19,3	18,9	14	15,7	21,6	18,7	1,7
ΜΣ (°dH)	15,2	10,9	9,3	7,1	7,6	10,0	10,5	23,0	12,7	13,2	11,7	11,9	12,4	9,4	14	7,1	23,0	11,8	3,9
Ca (mg/l)	96,0	108,8	116,8	104,8	99,2	102,8	105,6	108,8	116,0	120,8	130,0	116,8	136,8	121,6	14	96,0	136,8	113,2	11,7
Mg (mg/l)	75,9	75,0	63,3	52,5	53,0	52,2	58,1	110,6	63,7	65,2	60,6	59,1	54,5	49,1	14	49,1	110,6	63,8	15,7
Na (mg/l)	172,0	180,0	220,0	290,0	212,0	170,0	214,0	174,0	155,0	215,0	255,0	205,0	220,0	235,1	14	155,0	290,0	208,4	36,7
K (mg/l)	12,0	14,0	8,0	7,5	7,0	8,0	4,0	4,2	4,0	4,0	4,0	4,0	10,0	6,3	14	4,0	14,0	6,9	3,3
HCO <sub>3</sub> (mg/l)	341,6	469,7	469,7	427,0	402,6	356,9	384,3	384,3	396,5	408,7	445,3	393,5	420,9	411,8	14	341,6	469,7	408,1	37,3
Cl (mg/l)	290,8	329,8	237,6	340,4	219,9	223,4	237,6	266,0	287,2	312,1	347,5	271,3	354,6	276,6	14	219,9	354,6	285,3	46,2
SO <sub>4</sub> (mg/l)	197,5	203,5	190,9	166,5	171,3	150,4	191,0	248,0	197,8	228,3	208,2	181,6	209,5	182,2	14	150,4	248,0	194,8	25,0
NO <sub>3</sub> (mg/l)	37,0	33,4	43,6	31,2	36,1	33,9	33,9	37,6	40,9	41,4	33,0	32,6	31,7	31,7	14	31,2	43,6	35,6	4,0
PO <sub>4</sub> (mg/l)	0,19	0,19	0,21	0,12	0,15	0,12	0,19	0,13	0,11	1,09	0,68	0,07	0,18	0,14	14	0,07	1,09	0,25	0,28
NO <sub>2</sub> (mg/l)																			
NH <sub>4</sub> (mg/l)	0,08	1,16	1,42	0,61	1,01	1,02	1,06	0,92	0,89	1,06	0,93	0,90	1,60	1,39	14	0,08	1,60	1,00	0,37
TDS (mg/l)	1243	1428	1351	1421	1202	1099	1230	1335	1262	1398	1485	1265	1440	1239	14	1099	1485	1314	111
Φαινόλες	0	0,004											0,022						
SiO <sub>2</sub> (mg/l)	20,3	12,3																	
Br (mg/l)	0,03																		
I (mg/l)	0,05																		
F (mg/l)	0,38																		
CN (mg/l)	0,007																		
Hydrazin. (mg/l)	0																		

**Πίνακας 8.9:** Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων του επιφανειακού νερού του Μεγάλου Ρέματος στη Θέση Ραφ.2 (No 9)

Παράμετρος	Οκτώβριος 2005	Νοέμβριος 2005	Μάρτιος 2006	Οκτώβριος 2006	Μάρτιος 2007	πλήθος	min	max	average	s.d.
<b>Q (l/s)</b>	0,067	0,071	0,065	0,076	0,109	5	0,065	0,109	0,078	0,018
<b>T (°C)</b>	20,8	12,7	18,6	14,4		4	12,7	20,8	16,6	3,7
<b>EC (μS/cm)</b>	1247	1395	1387	1379	1364	5	1247	1395	1354	61,1
<b>pH</b>	8,1	8,3	8,5	8,4	8,1	5	8,1	8,5	8,3	0,2
<b>ανάλωση KMnO4 (mg/l)</b>	6,9	4,8				2	4,8	6,9	5,8	1,4
<b>ΟΣ (°dH)</b>	27,5	30,6	30,9	28,8	28,3	5	27,5	30,9	29,2	1,5
<b>ΠΣ (°dH)</b>	15,7	21,0	22,1	18,2	19,0	5	15,7	22,1	19,2	2,5
<b>ΜΣ (°dH)</b>	11,9	9,6	8,8	10,6	9,3	5	8,8	11,9	10,0	1,2
<b>Ca (mg/l)</b>	97,6	93,6	96,8	96,0	96,0	5	93,6	97,6	96,0	1,5
<b>Mg (mg/l)</b>	60,3	75,9	75,4	66,6	64,7	5	60,3	75,9	68,6	6,9
<b>Na (mg/l)</b>	130,0	126,0	242,0	152,0	193,1	5	126,0	242,0	168,6	48,9
<b>K (mg/l)</b>	8,0	6,0	4,0	8,0	2,1	5	2,1	8,0	5,6	2,6
<b>HCO<sub>3</sub> (mg/l)</b>	341,6	457,5	481,9	396,5	414,8	5	341,6	481,9	418,5	54,7
<b>Cl (mg/l)</b>	205,7	241,1	234,0	219,9	219,9	5	205,7	241,1	224,1	13,8
<b>SO<sub>4</sub> (mg/l)</b>	159,5	174,5	215,0	169,7	167,5	5	159,5	215,0	177,2	21,8
<b>NO<sub>3</sub> (mg/l)</b>	33,0	41,8	40,5	40,9	34,8	5	33,0	41,8	38,2	4,0
<b>PO<sub>4</sub> (mg/l)</b>	0,42	0,23	0,35	0,30	2,06	5	0,2	2,1	0,7	0,8
<b>NO<sub>2</sub> (mg/l)</b>										
<b>NH<sub>4</sub> (mg/l)</b>	0,40	1,87	1,33	1,79	0,32	5	0,3	1,9	1,1	0,7
<b>TDS (mg/l)</b>	1057	1233	1391	1151	1195	5	1057	1391	1205	122,9
<b>Φαινόλες</b>	0,001	0,002		0,028						
<b>SiO<sub>2</sub> (mg/l)</b>	20,8	15,4								
<b>Br (mg/l)</b>	0,01									
<b>I (mg/l)</b>	0,01									
<b>F (mg/l)</b>	0,45									
<b>CN (mg/l)</b>	0,008									
<b>Hydrazin. (mg/l)</b>	0,0042									

**Πίνακας 8.10:** Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων του επιφανειακού νερού του Μεγάλου Ρέματος στη Θέση Ραφ.3 (No 10)

Παράμετρος	Οκτώβριος 2005	Νοέμβριος 2005	Μάρτιος 2006	Οκτώβριος 2006	Μάρτιος 2007	πλήθος	min	max	average	s.d.
Q (l/s)	0,010	0,000	0,036	ΞΕΡΟ	0,019	4,000	0,000	0,036	0,016	0,015
T (°C)	24,5	12,3	18,7	ΞΕΡΟ		3	12,3	24,5	18,5	6,1
EC (μS/cm)	1026	963	685	ΞΕΡΟ	811	4	685	1026	871	153,5
pH	8,1	8,3	8,1	ΞΕΡΟ	7,6	4	7,6	8,3	8,0	0,3
ανάλωση KMnO4 (mg/l)	6,5	4,4				2	4,4	6,5	5,5	1,5
ΟΣ (°dH)	20,2	18,9	30,3	0,0	17,5	5	0,0	30,3	17,4	11,0
ΠΣ (°dH)	10,6	13,2	11,6	0,0	13,4	5	0,0	13,4	9,8	5,6
ΜΣ (°dH)	9,6	5,7	18,7	0,0	4,1	5	0,0	18,7	7,6	7,1
Ca (mg/l)	100,8	96,0	87,2	0,0	100,8	5	0,0	100,8	77,0	43,4
Mg (mg/l)	26,6	23,6	78,8	0,0	14,9	5	0,0	78,8	28,8	29,8
Na (mg/l)	120,0	106,0	61,0	0,0	88,8	5	0,0	120,0	75,2	47,4
K (mg/l)	8,0	6,0	3,0		2,1	4	2,1	8,0	4,8	2,7
HCO <sub>3</sub> (mg/l)	231,8	286,7	253,2	0,0	292,8	5	0,0	292,8	212,9	121,6
Cl (mg/l)	219,9	202,1	115,2		127,7	4	115,2	219,9	166,2	52,5
SO <sub>4</sub> (mg/l)	135,0	97,5	226,0		77,0	4	77,0	226,0	133,9	65,9
NO <sub>3</sub> (mg/l)	13,2	15,8	11,9	0,0	11,9	5	0,0	15,8	10,6	6,1
PO <sub>4</sub> (mg/l)	0,19	0,12	0,11		0,1	4	0,09	0,19	0,13	0,04
NO <sub>2</sub> (mg/l)										
NH <sub>4</sub> (mg/l)	0,01	0,34	0,26	0,00	0,25	5	0,00	0,34	0,17	0,15
TDS (mg/l)	872	843	837	ΞΕΡΟ	716	4	716	872	817	69,0
Φαινόλες	0,08	0,001								
SiO <sub>2</sub> (mg/l)	16,8	9,1								
Br (mg/l)	0,02									
I (mg/l)	0,04									
F (mg/l)	0,39									
CN (mg/l)	0,01									
Hydrazin. (mg/l)	0,0166									



**Πίνακας 8.11:** Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων του επιφανειακού νερού του Μεγάλου Ρέματος στη Θέση Ραφ.4 (No 11)

Παράμετρος	Οκτώβριος 2005	Νοέμβριος 2005	Μάρτιος 2006	Οκτώβριος 2006	Μάρτιος 2007	πλήθος	min	max	average	s.d.
Q (l/s)	0,125	0,124	0,153	0,021	0,158	5	0,021	0,158	0,116	0,055
T (°C)	20,4	13,2	19,5	15,7		4	13,2	20,4	17,2	3,4
EC (μS/cm)	1296	1321	1351	1300	1330	5	1296	1351	1320	22,6
pH	8,2	8,7	8,4	8,6	8,3	5	8,2	8,7	8,4	0,2
ανάλωση KMnO4 (mg/l)	6,4	4,1				2	4,1	6,4	5,3	1,6
ΟΣ (°dH)	29,8	30,9	28,8	27,6	28,5	5	27,6	30,9	29,1	1,3
ΠΣ (°dH)	16,8	19,3	19,3	17,1	19,7	5	16,8	19,7	18,5	1,4
ΜΣ (°dH)	13,0	11,6	9,4	10,6	8,8	5	8,8	13,0	10,7	1,7
Ca (mg/l)	94,4	96,0	87,2	93,6	100,8	5	87,2	100,8	94,4	4,9
Mg (mg/l)	72,0	75,9	72,0	63,2	62,7	5	62,7	75,9	69,2	5,9
Na (mg/l)	148,0	160,0	210,0	128,0	171,0	5	128,0	210,0	163,4	30,5
K (mg/l)	8,0	8,0	8,0	6,0	2,1	5	2,1	8,0	6,4	2,6
HCO <sub>3</sub> (mg/l)	366,0	420,9	420,9	372,1	430,1	5	366,0	430,1	402,0	30,4
Cl (mg/l)	212,8	209,2	191,5	202,1	212,8	5	191,5	212,8	205,7	9,1
SO <sub>4</sub> (mg/l)	165,0	159,9	240,3	151,9	169,8	5	151,9	240,3	177,4	35,8
NO <sub>3</sub> (mg/l)	33,0	44,9	40,0	49,3	40,5	5	33,0	49,3	41,5	6,1
PO <sub>4</sub> (mg/l)	0,26	0,11	0,14	0,16	0,37	5	0,11	0,37	0,21	0,11
NO <sub>2</sub> (mg/l)										
NH <sub>4</sub> (mg/l)	0,28	1,14	1,05	0,94	1,48	5	0,28	1,48	0,98	0,44
TDS (mg/l)	1123	1195	1271	1067	1192	5	1067	1271	1170	77,6
Φαινόλες	0	0,001		0,025						
SiO <sub>2</sub> (mg/l)	23,4	19,3								
Br (mg/l)	0,04									
I (mg/l)	0,08									
F (mg/l)	0,48									
CN (mg/l)	0,006									
Hydrazin. (mg/l)	0,0133									

**Πίνακας 8.12:** Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων του επιφανειακού νερού του Μεγάλου Ρέματος στη Θέση Ραφ.5 (No 12)

Παράμετρος	Οκτώβριος 2005	Νοέμβριος 2005	Μάρτιος 2006	Οκτώβριος 2006	Μάρτιος 2007	πλήθος	min	max	average	s.d.
Q (l/s)	0,160	0,217	0,089	0,004	0,077	5	0,004	0,217	0,109	1,265
T (°C)	23,3	11,1	12,8	10,9		4	10,9	23,3	14,5	6,1
EC (μS/cm)	890	941	999	1073	827	5	827,0	1073,0	946,0	448,4
pH	8,4	8,7	8,3	8,5	7,5	5	7,5	8,7	8,3	2,2
ανάληψη KMnO4 (mg/l)	5,0	4,1				2	4,1	5,0	4,6	1,7
ΟΣ (°dH)	18,0	21,6	25,7	24,6	19,1	5	18,0	25,7	21,8	9,1
ΠΣ (°dH)	7,0	13,7	16,5	16,0	10,6	5	7,0	16,5	12,8	5,8
ΜΣ (°dH)	11,0	7,9	9,2	8,7	8,5	5	7,9	11,0	9,0	2,9
Ca (mg/l)	64,0	88,0	113,6	103,2	64,8	5	64,0	113,6	86,7	33,1
Mg (mg/l)	39,2	40,2	42,7	44,2	43,6	5	39,2	44,2	42,0	23,1
Na (mg/l)	76,0	96,0	150,0	84,7	115,3	5	76,0	150,0	104,4	59,0
K (mg/l)	5,0	8,0	12,0	5,0	4,2	5	4,2	12,0	6,8	2,7
HCO <sub>3</sub> (mg/l)	152,5	298,9	359,9	347,7	231,8	5	152,5	359,9	278,2	141,0
Cl (mg/l)	152,5	145,4	177,3	152,5	159,6	5	145,4	177,3	157,5	67,6
SO <sub>4</sub> (mg/l)	70,7	124,0	174,8	119,3	123,8	5	70,7	174,8	122,5	65,3
NO <sub>3</sub> (mg/l)	40,9	40,5	45,8	44,4	43,1	5	40,5	45,8	42,9	13,7
PO <sub>4</sub> (mg/l)	0,23	0,10	0,12	0,17	0,09	5	0,09	0,23	0,14	1,25
NO <sub>2</sub> (mg/l)										
NH <sub>4</sub> (mg/l)	0,05	0,41	0,80	0,65	0,77	5	0,05	0,80	0,54	1,17
TDS (mg/l)	621	852	1077	902	787	5	620,7	1077,0	847,6	398,8
Φαινόλες	0,001	0,001		0						
SiO <sub>2</sub> (mg/l)	19,5	10,1								
Br (mg/l)	0,01									
I (mg/l)	0,02									
F (mg/l)	0,32									
CN (mg/l)	0,006									
Hydrazin. (mg/l)	0,0039									

**Πίνακας 8.13** Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων του επιφανειακού νερού του Ερασίνου στη **Θέση Ερ.1 (No1)**

Παράμετρος	Οκτώβριος 2005	Νοέμβριος 2005	Δεκέμβριος 2005	Ιανουάριος 2006	Φεβρουάριος 2006	Μάρτιος 2006	Απρίλιος 2006	Μάιος 2006	Ιούνιος 2006	Ιούλιος 2006	Αύγουστος 2006	Σεπτέμβριος 2006	Οκτώβριος 2006	Μάρτιος 2007	πλήθος	min	max	average	s.d.
<b>Q (l/s)</b>	0,140	0,062	2,958	0,130	0,390	0,187	0,101	0,031	ΞΕΡΟ	ΞΕΡΟ	ΞΕΡΟ	ΞΕΡΟ	0,195	0,268	0,140	0,062	2,958	0,130	0,390
<b>T (°C)</b>	17,1	11,7		7,1	14,9	15,0	15,5	15,5	ΞΕΡΟ	ΞΕΡΟ	ΞΕΡΟ	ΞΕΡΟ	13,2		8	7,1	17,1	13,75	3,14
<b>EC (μS/cm)</b>	1955	1904	1813	1802	1773	1440	1540	1823	ΞΕΡΟ	ΞΕΡΟ	ΞΕΡΟ	ΞΕΡΟ	1637	1457	10	1440	1955	1714	183,91
<b>pH</b>	8,1	8,4	8,3	8,4	8,3	8,1			ΞΕΡΟ	ΞΕΡΟ	ΞΕΡΟ	ΞΕΡΟ	8,2	7,6	8	7,6	8,41	8,15	0,26
<b>ανάληψη KMnO4 (mg/l)</b>	9,1	7,2													2	7,2	9,1	8,15	1,34
<b>ΟΣ (°dH)</b>	41,9	43,0	40,3	40,5	39,9	39,6	38,7	51,7	ΞΕΡΟ	ΞΕΡΟ	ΞΕΡΟ	ΞΕΡΟ	39,3	32,1	10	32,13	51,74	40,71	4,83
<b>ΠΣ (°dH)</b>	22,7	25,8	24,6	25,2	24,6	21,6	21,4	23,2	ΞΕΡΟ	ΞΕΡΟ	ΞΕΡΟ	ΞΕΡΟ	19,0	18,8	10	18,76	25,76	22,69	2,48
<b>ΜΣ (°dH)</b>	19,23	17,27	15,7	15,25	15,25	17,99	17,29	28,5	ΞΕΡΟ	ΞΕΡΟ	ΞΕΡΟ	ΞΕΡΟ	20,29	13,37	10	13,37	28,5	18,01	4,21
<b>Ca (mg/l)</b>	165,6	166,4	160,8	159,2	155,2	158,4	156,4	157,6	ΞΕΡΟ	ΞΕΡΟ	ΞΕΡΟ	ΞΕΡΟ	169,6	152,8	10	152,8	169,6	160,20	5,39
<b>Mg (mg/l)</b>	81,42	85,82	77,5	78,96	78,95	75,54	73,1	129	ΞΕΡΟ	ΞΕΡΟ	ΞΕΡΟ	ΞΕΡΟ	67,75	46,71	10	46,71	129	79,48	20,46
<b>Na (mg/l)</b>	180	184	280	300	265	240	222	192	ΞΕΡΟ	ΞΕΡΟ	ΞΕΡΟ	ΞΕΡΟ	154	176,3	10	154	300	219,33	49,86
<b>K (mg/l)</b>	10	10	10	10,5	9	12	8	5	ΞΕΡΟ	ΞΕΡΟ	ΞΕΡΟ	ΞΕΡΟ	4	4,2	10	4	12	8,27	2,87
<b>HCO<sub>3</sub> (mg/l)</b>	494,1	561,2	536,8	549	536,8	469,7	466,7	506,3	ΞΕΡΟ	ΞΕΡΟ	ΞΕΡΟ	ΞΕΡΟ	414,8	408,7	10	408,7	561,2	494,41	53,99
<b>Cl (mg/l)</b>	326,2	368,8	375,9	383	344	354,6	329,8	361,7	ΞΕΡΟ	ΞΕΡΟ	ΞΕΡΟ	ΞΕΡΟ	319,1	269,5	10	269,5	383	343,26	33,77
<b>SO<sub>4</sub> (mg/l)</b>	262,5	225,5	208,7	229,7	226,8	233,2	245	266	ΞΕΡΟ	ΞΕΡΟ	ΞΕΡΟ	ΞΕΡΟ	144,9	137,5	10	137,5	266	217,98	44,00
<b>NO<sub>3</sub> (mg/l)</b>	18,92	40,04	46,2	38,28	36,08	38,28	40,48	31,46	ΞΕΡΟ	ΞΕΡΟ	ΞΕΡΟ	ΞΕΡΟ	53,68	42,24	10	18,92	53,68	38,57	9,12
<b>PO<sub>4</sub> (mg/l)</b>	0,42	0,38	0,46	0,41	0,55	0,255	0,42	0,605	ΞΕΡΟ	ΞΕΡΟ	ΞΕΡΟ	ΞΕΡΟ	0,46	0,18	10	0,18	0,605	0,41	0,12
<b>NO<sub>2</sub> (mg/l)</b>																			
<b>NH<sub>4</sub> (mg/l)</b>	0,142	1,922	2,464	1,754	2,27	1,845	1,754	2,154	ΞΕΡΟ	ΞΕΡΟ	ΞΕΡΟ	ΞΕΡΟ	1,419	1,277	10	0,142	2,464	1,70	0,66
<b>TDS (mg/l)</b>	1564	1664	1699	1751	1655	1584	1544	1652	ΞΕΡΟ	ΞΕΡΟ	ΞΕΡΟ	ΞΕΡΟ	1330	1239	10	1239	1751	1568	163
<b>Φαινόλες</b>	0,005	0,004											0,012						
<b>SiO<sub>2</sub> (mg/l)</b>	24,3	20,2																	
<b>Br (mg/l)</b>	0,04																		
<b>I (mg/l)</b>	0,06																		
<b>F (mg/l)</b>	0,37																		
<b>CN (mg/l)</b>	0,021																		
<b>Hydrazin. (mg/l)</b>	0,0051																		

**Πίνακας 8.14:** Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων του επιφανειακού νερού του Ερασίνου στις Θέσεις Ερ.2 και Ερ.3 (No 5 και 6)

Παράμετρος	Ερ. 2										Ερ. 3
	Οκτώβριος 2005	Νοέμβριος 2005	Μάρτιος 2006	Οκτώβριος 2006	Μάρτιος 2007	πλήθος	min	max	average	s.d.	Οκτώβριος 2005
Q (l/s)	0,035	0,180	0,175	0,063	0,329	5	0,04	0,33	0,16	0,12	0,053
T (°C)	18,9	14,2	16,2	14,9		4	14,2	18,9	16,1	2,1	19,0
EC (μS/cm)	1688	1637	1450	1718	1524	5	1450	1718	1603	113	1691
pH	8,0	8,2	8,3	8,3	7,6	5	7,60	8,30	8,08	0,29	7,9
ανάλωση KMnO4 (mg/l)	5,5	5,2				2	5,20	5,50	5,35	0,21	6,0
ΟΣ (°dH)	43,3	41,7	35,1	42,3	35,1	5	35,1	43,3	39,5	4,1	46,1
ΠΣ (°dH)	21,3	25,5	18,5	21,6	20,6	5	18,5	25,5	21,5	2,5	20,4
ΜΣ (°dH)	22,0	16,2	16,6	20,7	14,5	5	14,5	22,0	18,0	3,2	25,6
Ca (mg/l)	200,0	200,0	173,6	192,8	172,0	5	172,0	200,0	187,7	13,9	200,0
Mg (mg/l)	66,3	59,5	46,8	66,3	47,7	5	46,8	66,3	57,3	9,6	78,6
Na (mg/l)	95,0	106,0	160,0	145,0	179,5	5	95,0	179,5	137,1	35,8	45,0
K (mg/l)	6,0	12,0	12,0	6,0	2,1	5	2,1	12,0	7,6	4,3	2,0
HCO <sub>3</sub> (mg/l)	463,6	555,1	402,6	469,7	448,4	5	402,6	555,1	467,9	55,4	445,3
Cl (mg/l)	312,1	305,0	241,1	312,1	283,7	5	241,1	312,1	290,8	30,1	234,0
SO <sub>4</sub> (mg/l)	93,0	138,0	196,6	136,1	142,0	5	93,0	196,6	141,1	36,8	84,3
NO <sub>3</sub> (mg/l)	49,3	48,8	71,7	64,7	47,5	5	47,5	71,7	56,4	11,1	48,4
PO <sub>4</sub> (mg/l)	0,42	0,23	0,35	0,30	2,06	5	0,23	2,06	0,67	0,78	0,45
NO <sub>2</sub> (mg/l)											
NH <sub>4</sub> (mg/l)	0,40	1,87	1,33	1,79	0,32	5	0,32	1,87	1,14	0,74	0,68
TDS (mg/l)	621	852	1077	902	787	5	620,7	1077,0	847,6		398,8
Φαινόλες	0	0,002		0							0,002
SiO <sub>2</sub> (mg/l)	24,1	16,1									24,6
Br (mg/l)	0,02										0,05
I (mg/l)	0,03										0,07
F (mg/l)	0,3										0,28
CN (mg/l)	0,015										0,018
Hydrazin. (mg/l)	0,0107										0,0125

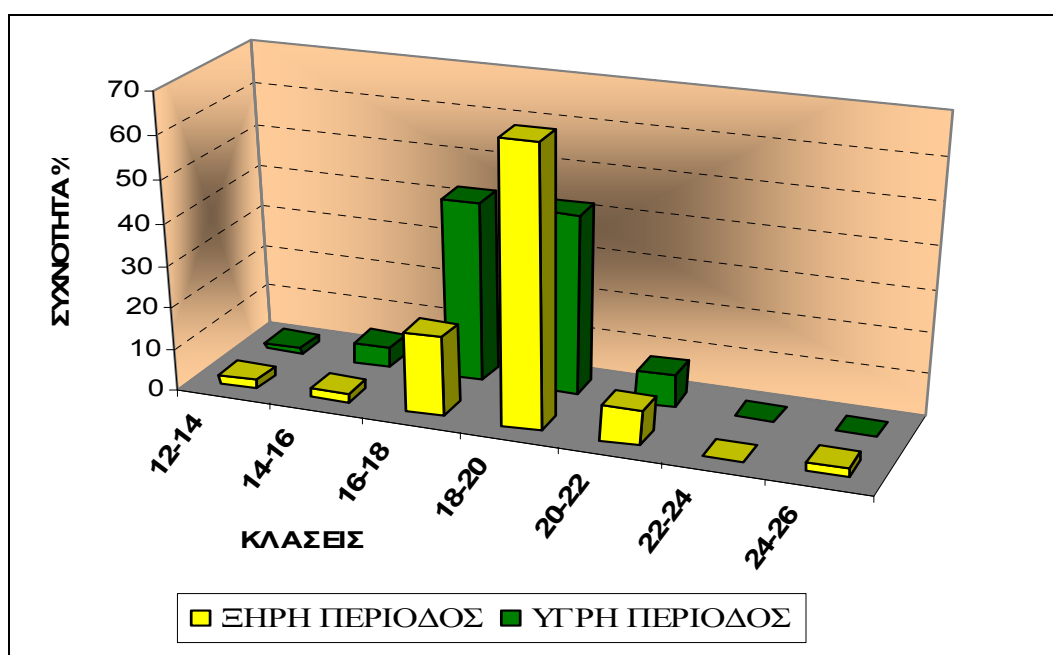
## 8.4 ΥΠΟΓΕΙΑ ΝΕΡΑ

### 8.4.1 Φυσικοχημικές παράμετροι

#### 8.4.1.1 Θερμοκρασία

Η θερμοκρασία παίζει σημαντικό ρόλο στην ποιότητα του νερού. Σύμφωνα με την οδηγία της Ε.Ε. 80/778/15-7-80 για τα πόσιμα νερά, η ενδεικτική τιμή κυμαίνεται στους 12°C. Όταν αυξάνεται η θερμοκρασία εκδιώκονται τα διαλυμένα αέρια και το νερό γίνεται λιγότερο εύγεστο. Όταν η θερμοκρασία υπερβαίνει τους 15 °C πολλαπλασιάζονται τα τυχόν υπάρχοντα σε αυτό μικρόβια κι ευνοείται η ανάπτυξη αλγών με άμεση συνέπεια την εμφάνιση δυσάρεστων οσμών και γεύσεων (Παππά 2001). Σαν μέγιστο επιτρεπτό όριο θερμοκρασίας για τα πόσιμα νερά τίθεται απ' την Ε.Ε. η τιμή 25 °C (Οδηγία 80/778/15-7-80).

Τα επιφανειακά νερά επηρεάζονται άμεσα απ' την θερμοκρασία του περιβάλλοντος χώρου με αποτέλεσμα να έχουν ιδιαίτερα υψηλές θερμοκρασίες κατά την θερινή περίοδο και χαμηλές κατά τη χειμερινή περίοδο. Ο φλοιός της γης, λόγω των θερμομονωτικών του ιδιοτήτων, μετριάξει τις μεγάλες διακυμάνσεις της θερμοκρασίας της επιφάνειας του εδάφους, διατηρώντας τα βαθιά υπόγεια νερά σε θερμοκρασίες σχετικά σταθερές. Αντίθετα, τα υπόγεια νερά μικρού βάθους επηρεάζονται από τις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας στην ατμόσφαιρα, ενώ τα επιφανειακά νερά ακολουθούν πιστά τις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας αέρος (Heath, 1964).

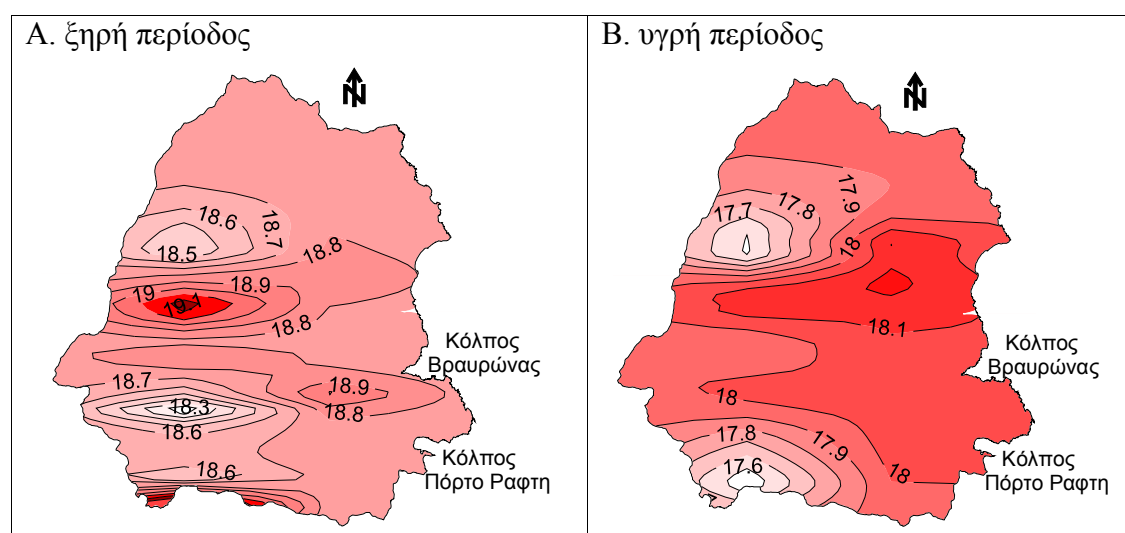


Σχήμα 8.2: Ιστόγραμμα συχνοτήτων θερμοκρασίας των υπόγειων νερών στις δύο περιόδους

Η θερμοκρασία των υπόγειων νερών της περιοχής έρευνας εμφανίζει έντονη διαφοροποίηση μεταξύ των ανώτερων και βαθύτερων υδροφόρων οριζόντων της λεκάνης. Οι χαμηλότερες θερμοκρασίες παρουσιάζονται στα νερά των πηγών και των ρηχών πηγαδιών που κυμαίνονται μεταξύ 15,5 και 20,9°C. Αντίθετα η θερμοκρασία στις βαθιές γεωτρήσεις κυμαίνεται μεταξύ 16,8 και 25,0 °C. Οι υψηλότερες τιμές θερμοκρασίας εντοπίζονται στις γεωτρήσεις και τα πηγάδια του δυτικού τμήματος της περιοχής έρευνας, όπου αναπτύσσεται ο καρστικός υδροφόρος των ανθρακικών

του Υμηττού. Προφανώς οι υψηλές τιμές θερμοκρασίας των υπόγειων καρστικών νερών σχετίζονται με την ρηγματογόνο τεκτονική που χαρακτηρίζει την ευρύτερη περιοχή της Αττικής, αλλά και με τις διάφορες γεωχημικές διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα μέσα στους υδροφόρους ορίζοντες. Επίσης στα δυτικά περιθώρια του Υμηττού εντοπίζονται οι θερμομεταλλικές πηγές Βουλιαγμένης, οι οποίες παρουσιάζουν θερμοκρασίες που ξεπερνούν τους 25 °C (Sfetsos, 1988). Ως εκ τούτου τα υπόγεια νερά της περιοχής αυτής επηρεάζονται από το γεωθερμικό πεδίο που αναπτύσσεται στο υπόβαθρο της μάζας του Υμηττού (Γεωργαλάς και Κουμαντάκης 1995, Γεωργαλάς 1996).

Η κατηγοριοποίηση των τιμών θερμοκρασίας των υπόγειων νερών σε κλάσεις αποτυπώνεται στο σχήμα 8.2. Από την κατανομή των κλάσεων παρατηρούμε ότι την ξηρή περίοδο η επικρατούσα κλάση είναι μεταξύ 18 και 20°C, ενώ την υγρή επικρατούν οι κλάσεις μεταξύ 16 και 20°C. Σε προηγούμενες έρευνες που πραγματοποιήθηκαν στην ευρύτερη περιοχή επιβεβαιώνεται η ύπαρξη γεωθερμικού πεδίου του οποίου οι τιμές θερμοκρασίας ανέρχονται στους 24,9°C (Γεωργαλάς και Κουμαντάκης 1995, Παπαδέας 2002).



Σχήμα 8.3: Χωρική κατανομή της θερμοκρασίας (°C) των υπόγειων υδάτων

Τα υπόγεια νερά της περιοχής παρουσιάζουν βάσει της λιθολογικής ταξινόμησης τις ακόλουθες τιμές θερμοκρασίας:

**α) νερά των τεταρτογενών σχηματισμών:** Οι τιμές θερμοκρασίας των τεταρτογενών σχηματισμών δεν παρουσιάζουν ιδιαίτερες διαφορές ανάμεσα στις δύο περιόδους. Την ξηρή περίοδο ο μέσος όρος αυτών είναι 18,8°C με τιμές που κυμαίνονται από 15,5-20,8°C ενώ την υγρή είναι μόλις μισό βαθμό χαμηλότερος 18,2°C με τιμέ από 17,2 έως 18,2°C. Η δειγματοληψία έγινε κάτω από αίθριες συνθήκες τόσο κατά την ξηρή όσο και κατά την υγρή περίοδο. Η τυπική απόκλιση και στις δύο περιόδους έχει μικρή τιμή (πίνακες 8.2 και 8.3) αντικατοπτρίζοντας τη μικρή διασπορά των τιμών.

**β) νερά των νεογενών σχηματισμών:** Τα υπόγεια νερά των νεογενών σχηματισμών παρουσιάζουν παρεμφερείς τιμές θερμοκρασίας με αυτές των τεταρτογενών σχηματισμών, με ελαφρώς μεγαλύτερη διασπορά των τιμών. Οι θερμοκρασίες της ξηρής περιόδου κυμαίνονται από 12,5 έως 21,2 °C με μέσο όρο 18,5 °C ενώ την υγρή περίοδο από 14 έως 21 °C με μέσο όρο 17,8 °C.

**γ) νερά των καρστικών ανθρακικών σχηματισμών:** Τα νερά των ανθρακικών σχηματισμών παρουσιάζουν μεγαλύτερες θερμοκρασίες συγκριτικά με τα ύδατα των

νεογενών και τεταρτογενών αποθέσεων, κάτι που οφείλεται πιθανόν στο μεγαλύτερο βάθος αυτών και την επιρροή της υψηλής θερμοκρασίας των βαθύτερων στρωμάτων του εδάφους. Οι θερμοκρασίες κυμαίνονται την ξηρή περίοδο από 17,5-25 °C με μέσο όρο 19,1 °C και την υγρή από 17-20,5 °C με μέσο όρο 18,4 °C. Τα πηγάδια κι οι γεωτρήσεις των κατώτερων ανθρακικών σχηματισμών (No 40, 72 και 73) παρουσιάζουν θερμοκρασίες που κυμαίνονται από 18,1-18,5 °C την ξηρή περίοδο, και την υγρή περίοδο μεγαλύτερες τιμές, από 18,4-18,9 °C. Η σχετικά υψηλότερη θερμοκρασία της υγρής περιόδου του καρστικού υδροφορέα σχετίζεται προφανώς με την επίδραση του γεωθερμικού πεδίου. Η μέγιστη τιμή όλων των υπόγειων υδάτων παρατηρήθηκε την ξηρή περίοδο σε γεώτρηση των ανθρακικών σχηματισμών του δυτικού τμήματος της περιοχής έρευνας, στις παρυφές του Υμηττού (Γ70:25°C, Σχήμα 6.1). Η μέγιστη αυτή τιμή (25 °C) αποτυπώνεται μόνο την ξηρή περίοδο, λόγω της άρνησης του ιδιοκτήτη να δώσει επαναληπτικό δείγμα κατά την υγρή περίοδο.

Η χωρική κατανομή των θερμοκρασιών (σχήμα 8.3) δείχνει την επικράτηση υψηλών τιμών στο κεντρικό τμήμα της περιοχής, μεταξύ του Υμηττού και των κόλπων Βραυρώνας και Πόρτο Ράφτη, τόσο κατά την ξηρή όσο και κατά την υγρή περίοδο. Προφανώς αυτό σχετίζεται με την παρουσία των ρηγμάτων ΑΔ-διεύθυνσης που επικρατούν στην εν λόγω περιοχή.

#### 8.4.1.2 Το pH

Το pH ορίζεται ως ο αρνητικός λογάριθμος της συγκέντρωσης ιόντων υδρογόνου, δηλαδή  $pH = -\log [H^+]$  και παίρνει τιμές από 0 έως 14. Ουσιαστικά καθορίζει την ισορροπία μεταξύ οξέων και βάσεων. Το pH παίζει καθοριστικό ρόλο στις χημικές αντιδράσεις μεταξύ των διάφορων ουσιών στα ύδατα. Το χαμηλό pH καθιστά τα βαρέα μέταλλα κινητά και κατ' επέκταση ιδιαίτερα τοξικά για τα είδη της τροφικής αλυσίδας.

Το ενδεικτικό επίπεδο του pH στα πόσιμα νερά είναι, σύμφωνα με την οδηγία της Ε.Ε., μεταξύ 6,5 και 8,5 αλλά με επεξεργασία μπορεί να χρησιμοποιηθεί και νερό με pH μεταξύ 5 και 9. Για τιμές pH πέρα απ' τα όρια αυτά, καθίσταται αντιοικονομική η επεξεργασία του νερού για την ουδετεροποίηση του pH (Παπά 2001, Καλλέργης 2000).

Τα υπόγεια νερά της περιοχής παρουσιάζουν βάσει της λιθολογικής ταξινόμησης τις ακόλουθες τιμές θερμοκρασίας:

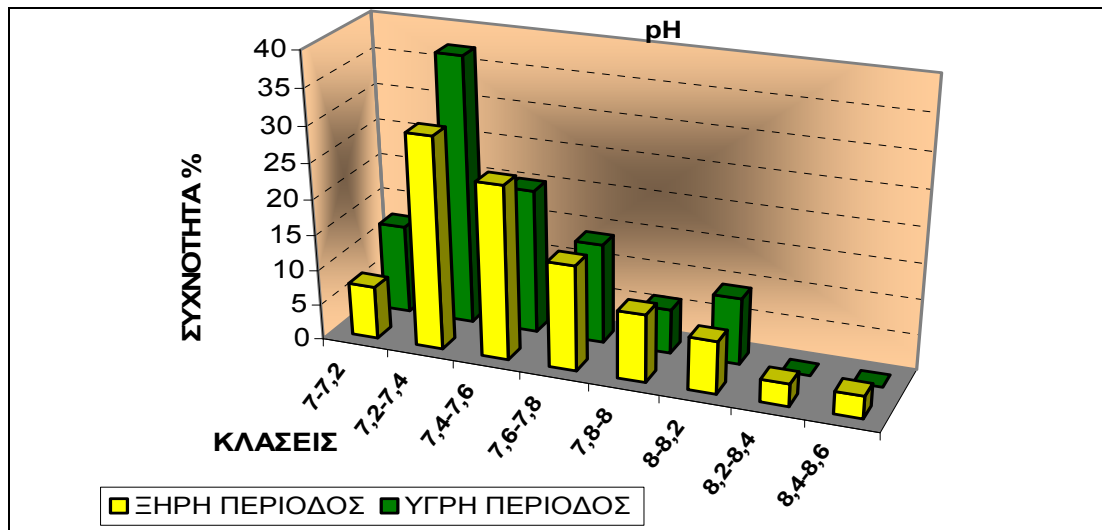
**α) νερά των τεταρτογενών σχηματισμών:** Οι τιμές του pH στα υπόγεια νερά που προέρχονται από τους τεταρτογενείς σχηματισμούς κυμαίνονται κατά την ξηρή περίοδο από 7,27 έως 7,95 με μέσο όρο 7,55, ενώ κατά την υγρή περίοδο κυμαίνονται από 7,3 έως 8,0 με μέσο όρο 7,5 (πίνακες 8.2 και 8.3). Γενικά παρουσιάζουν ουδέτερο προς ελαφρώς αλκαλικό χαρακτήρα.

**β) νερά των νεογενών σχηματισμών:** Οι μέσες τιμές pH των υδάτων των νεογενών σχηματισμών παρουσιάζουν ομοιότητες συγκριτικά με αυτές των τεταρτογενών σχηματισμών. Οι τιμές κυμαίνονται την ξηρή περίοδο από 7,1 έως 8,53 με μέσο όρο 7,55 ενώ την υγρή περίοδο κυμαίνονται από 7,11 έως 8,07 με μέσο όρο 7,46 (πίνακας 8.2). Γενικά παρουσιάζουν ουδέτερο προς ελαφρώς αλκαλικό χαρακτήρα.

**γ) νερά των καρστικών ανθρακικών σχηματισμών:** Οι τιμές pH των υδάτων των ανθρακικών σχηματισμών κυμαίνονται την ξηρή περίοδο από 7,14-8,20 με μέσο όρο 7,52 ενώ την υγρή περίοδο κυμαίνονται από 7,13-7,8 με μέσο όρο 7,41. Τα υπόγεια νερά των ανθρακικών σχηματισμών παρουσιάζουν τιμές pH που κυμαίνονται από 7,4 έως 7,65 την ξηρή περίοδο και 7,2 την υγρή περίοδο. Γενικά παρουσιάζουν ουδέτερο προς ελαφρώς αλκαλικό χαρακτήρα.

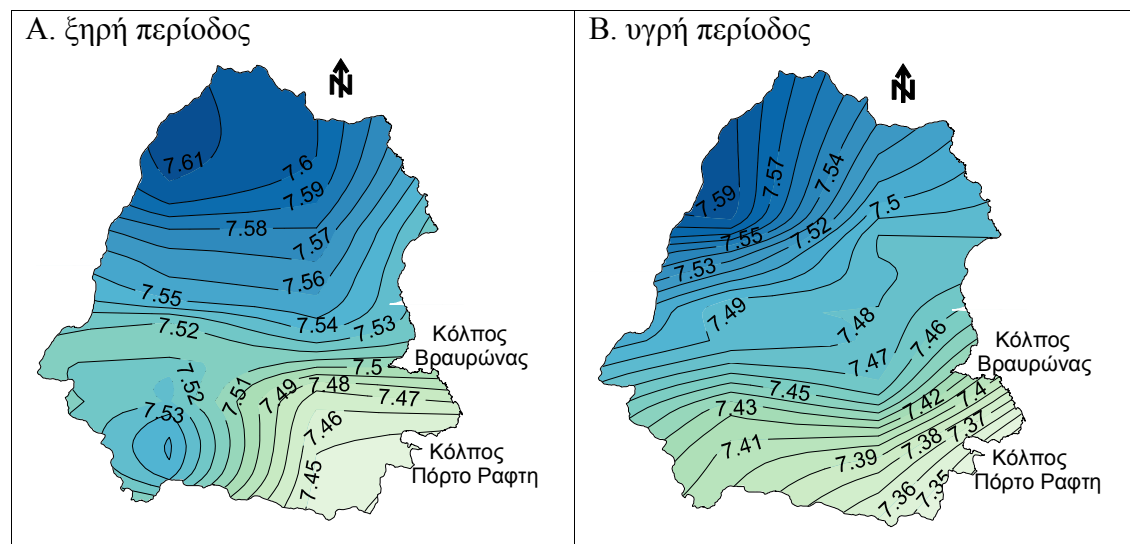


Γενικά, τα νερά της περιοχής παρουσιάζουν τιμές pH που κυμαίνονται στην κλίμακα των ελαφρώς αλκαλικών νερών με τυπική απόκλιση που δεν ξεπερνά το 0,32 (πίνακας 6.1). Η επικρατούσα κλάση τόσο στην ξηρή όσο στην υγρή περίοδο είναι μεταξύ 7,2 και 7,4 (σχήμα 8.4).



Σχήμα 8.4: Ιστόγραμμα συχνοτήτων pH στα υπόγεια νερά της περιοχής

Η χωρική κατανομή των τιμών του pH στην περιοχή έρευνας (σχήμα 6.5) παρουσιάζει ομοιότητες μεταξύ της ξηρής και υγρής περιόδου. Η τάση αύξησης του pH έχει κατεύθυνση προς τα πρηνή της Πεντέλης όπου επικρατούν οι ασβεστόλιθοι και τα μάρμαρα. Αντίθετα, παρατηρείται αύξηση της οξύτητας προς το κεντρικό καλλιεργούμενο τμήμα και το Νοτιοανατολικό τμήμα. Οι χαμηλές τιμές pH στα καλλιεργούμενα τμήματα πιθανότατα έχουν προέλθει από την εφαρμογή αζωτούχων λιπασμάτων.



Σχήμα 8.5: Χωρική κατανομή του pH των υπόγειων υδάτων

### 8.4.1.3 Ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC)

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα εκφράζει την ικανότητα ενός υδατικού διαλύματος να άγει το ηλεκτρικό ρεύμα. Αυτή η ικανότητα εξαρτάται απ' την παρουσία ιόντων, απ' την ολική τους συγκέντρωση, το είδος τους και τη θερμοκρασία. Ορίζεται ως το αντίστροφο της ηλεκτρικής αντίστασης που μετράται μεταξύ δύο ηλεκτροδίων λευκόχρυσου, συνδεδεμένα με μια πηγή ηλεκτρικού ρεύματος εντάσεως  $I$  που εμβαπτίζεται στο διάλυμα. Η EC μετράται συνήθως σε  $\mu\text{S}/\text{cm}$  με ειδικό όργανο (αγωγιμόμετρο). Σύμφωνα με την οδηγία της Ε.Ε. 80/778/15-7-80, το ενδεικτικό επίπεδο της EC για τα πόσιμα νερά είναι  $400 \mu\text{S}/\text{cm}$  (στους  $20^\circ\text{C}$ ).

Σύμφωνα με τους Mandel & Shiftan (1981) μπορεί να εκτιμηθούν τα ολικά διαλυμένα στερεά (TDS) σε ppm συναρτήσει της ηλεκτρικής αγωγιμότητας EC απ' τη σχέση:

$$TDS \approx 0,65 \cdot EC$$

όπου η ηλεκτρική αγωγιμότητα μετράται σε  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

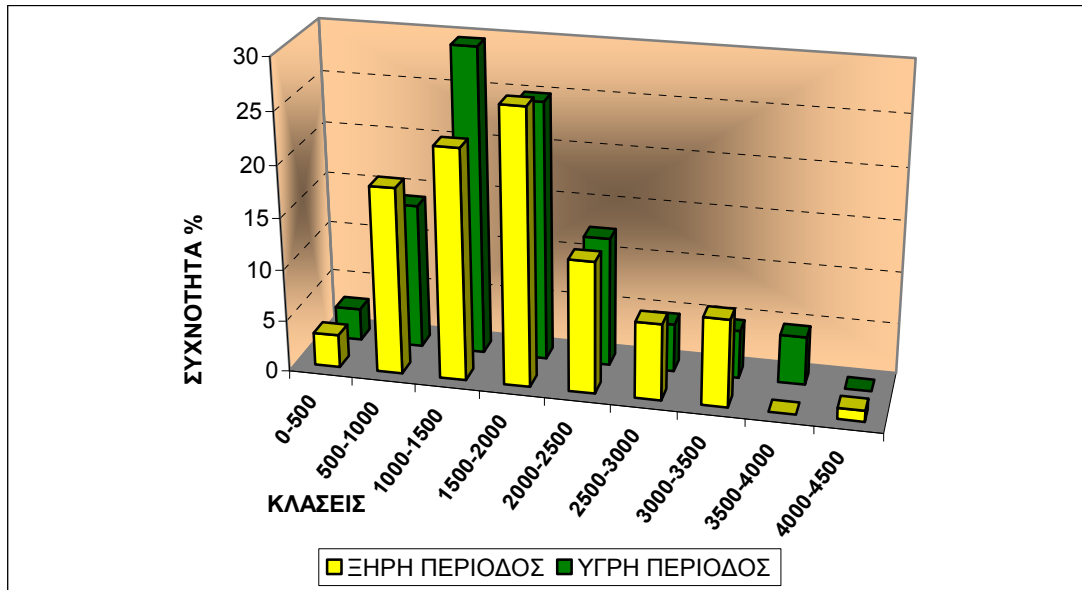
Τα υπόγεια νερά της περιοχής παρουσιάζουν βάσει της λιθολογικής ταξινόμησης τις ακόλουθες τιμές θερμοκρασίας:

**α) νερά των τεταρτογενών σχηματισμών:** Η ηλεκτρική αγωγιμότητα των υπόγειων νερών τόσο των τεταρτογενών αποθέσεων όσο και των άλλων λιθολογικών σχηματισμών παρουσιάζει μεγάλα εύρη τιμών. Τα νερά των τεταρτογενών σχηματισμών παρουσιάζουν την ξηρή περίοδο τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας με μέσο όρο  $1994 \mu\text{S}/\text{cm}$ , ελάχιστη τιμή  $427 \mu\text{S}/\text{cm}$  και μέγιστη  $3250 \mu\text{S}/\text{cm}$ . Την υγρή περίοδο η ηλεκτρική αγωγιμότητα κυμαίνεται σε παρεμφερείς τιμές, ήτοι από  $454$  έως  $3520 \mu\text{S}/\text{cm}$  με μέσο όρο  $1988 \mu\text{S}/\text{cm}$ . Εξαιρέση αποτελεί το πηγάδι Νο 24 στη Ραφήνα με αγωγιμότητα μόλις  $330 \mu\text{S}/\text{cm}$ . Η χαμηλή τιμή πιθανότατα οφείλεται σε διοχέτευση επιφανειακών υδάτων καλής ποιότητας στο πηγάδι αυτό.

**β) νερά των νεογενών σχηματισμών:** Τα νερά των νεογενών σχηματισμών παρουσιάζουν επίσης μεγάλα εύρη τιμών ηλεκτρικής αγωγιμότητας που κυμαίνονται την ξηρή περίοδο από  $981$  έως  $4430 \mu\text{S}/\text{cm}$  με μέσο όρο  $1917 \mu\text{S}/\text{cm}$  και την υγρή περίοδο κυμαίνονται από  $1015$  έως  $3675 \mu\text{S}/\text{cm}$  με μέσο όρο  $1917 \mu\text{S}/\text{cm}$  (πίνακες 8.4 και 8.5).

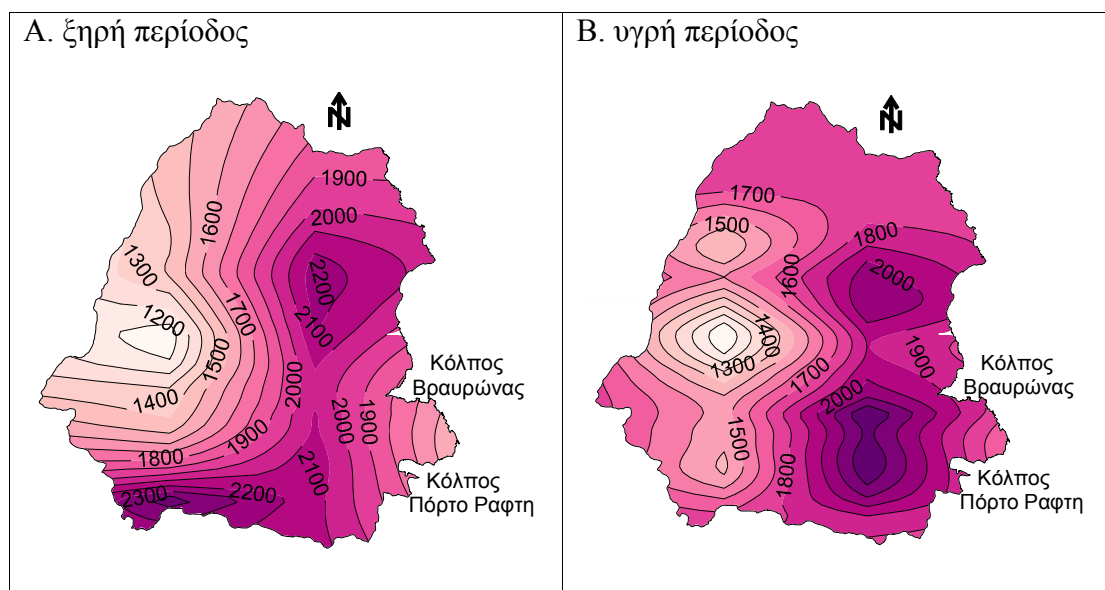
**γ) νερά των καρστικών ανθρακικών σχηματισμών:** Τα νερά των αβαθών πηγαδιών και γεωτρήσεων των ανθρακικών σχηματισμών παρουσιάζουν πολύ μικρές τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας συγκριτικά με αυτά των άλλων λιθολογικών σχηματισμών, που κυμαίνονται από  $297$  έως  $1888 \mu\text{S}/\text{cm}$  την ξηρή περίοδο και από  $362$  έως  $1702 \mu\text{S}/\text{cm}$  την υγρή περίοδο (πίνακες 8.6 και 8.7). Αντίθετα, τα πηγάδια και οι γεωτρήσεις των κατώτερων ανθρακικών σχηματισμών (Νο 40, 72 και 73) που έχουν φθάσει στο επίπεδο της θάλασσας παρουσιάζουν τιμές από  $3150$  έως  $3400 \mu\text{S}/\text{cm}$  την ξηρή περίοδο και από  $3060$  έως  $3515 \mu\text{S}/\text{cm}$  την υγρή. Οι υψηλές τιμές αποδίδονται στην υψηλή αλατότητα των υδάτων λόγω της υφαλμύρινσης που έχει υποστεί ο καρστικός υδροφόρος από τη διείσδυση της θάλασσας.

Γενικά οι τιμές κυμαίνονται από  $297 \mu\text{S}/\text{cm}$  έως  $4430 \mu\text{S}/\text{cm}$  με κορύφωση στις τιμές μεταξύ  $500$  και  $2500 \mu\text{S}/\text{cm}$  (σχήμα 8.6). Παρόμοιες τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας εντοπίζονται και σε προγενέστερες υδρογεωλογικές μελέτες στην περιοχή έρευνας, ήτοι  $260-4.180 \mu\text{S}/\text{cm}$  (Alexakis and Kelepertsis, 1998),  $1005-7130 \mu\text{S}/\text{cm}$  (Χαμπίδη, 2005) και  $260-6.970 \mu\text{S}/\text{cm}$  (Stamatis et al., 2006).



Σχήμα 8.6: Ιστόγραμμα συχνοτήτων ηλεκτρικής αγωγιμότητας στα υπόγεια νερά της περιοχής

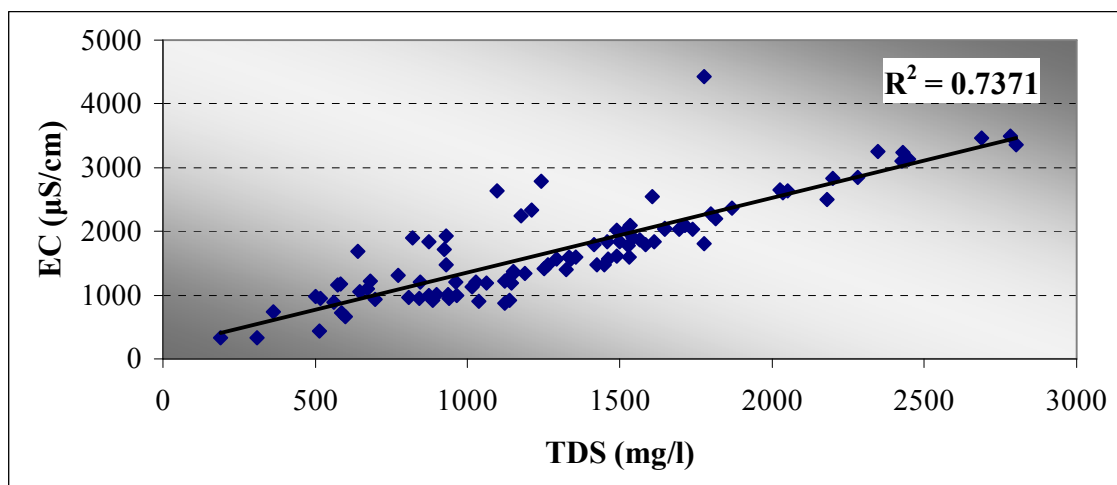
Για την καλύτερη κι αντιπροσωπευτικότερη απεικόνιση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας στο χώρο δημιουργήθηκαν οι ισοπεριεκτικές καμπύλες που φανερώνουν την κατανομή και τις τάσεις που ακολουθούν οι τιμές στο χώρο (σχήμα 8.7).



Σχήμα 8.7: Χωρική κατανομή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (μS/cm)

Στο σχήμα αυτό διακρίνεται η διαφορά μεταξύ των υδάτων της παράκτιας ζώνης και των υδάτων της ενδοχώρας. Τα δείγματα νερού που βρίσκονται κοντά στην ακτογραμμή παρουσιάζουν υψηλή EC, φαινόμενο που αποδίδεται στη διείσδυση του θαλασσινού νερού στον υδροφόρο. Η έντονη εκμετάλλευσή των πηγαδιών και γεωτρήσεων, ιδιαίτερα κατά την ξηρή περίοδο, οδηγεί στην διατάραξη των φυσικών υδραυλικών συνθηκών και επομένως στην διείσδυση της θάλασσας προς την ενδοχώρα περιοχή. Τα υπόγεια νερά που αναπτύσσονται στο δυτικό τμήμα της περιοχής παρουσιάζουν χαμηλές τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας και αντίστοιχα χαμηλές τιμές συγκέντρωσης αλάτων, όπως αυτό αναλύεται πιο κάτω. Αυτό

σχετίζεται με τον εμπλουτισμό των υδροφόρων της εν λόγω περιοχής από τα καρστικά νερά της ανθρακικής μάζας του Υμηττού, τα οποία γενικά περιέχουν χαμηλότερες συγκεντρώσεις αλάτων, σε σύγκριση με αυτά των νεογενών και τεταρτογενών σχηματισμών.



Σχήμα 8.8: Σχέση EC-TDS στα νερά της περιοχής

Γενικά παρατηρούνται υψηλές τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας στα υπόγεια νερά της περιοχής οι οποίες σχετίζονται με την αλατότητά τους. Η σχέση μεταξύ της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC σε  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) και των ολικών διαλυμένων αλάτων (TDS σε  $\text{mg}/\text{l}$ ) στα νερά της περιοχής είναι γραμμική με συντελεστή προσαρμογής 0,74 και παρουσιάζεται στο σχήμα 8.8.

#### 8.4.1.4 Ολικά διαλυμένα στερεά (TDS)

Είναι η ποσότητα των ουσιών που βρίσκονται διαλυμένες στο νερό. Τα υπόγεια νερά περιέχουν πληθώρα από ανόργανα συστατικά και σε μικρότερες ποσότητες οργανικές ουσίες και ιχνοστοιχεία (Κερκίδης, 2004). Το άθροισμα όλων αυτών των στοιχείων δίνει την τιμή των TDS σε  $\text{mg}/\text{l}$ .

Όταν τα TDS είναι υψηλά θεωρούνται επιζήμια στην ανθρώπινη υγεία, τη βιομηχανία και τη γεωργία. Όσον αφορά τη γεωργία, που καταλαμβάνει σημαντική έκταση της κοιλάδας των Μεσογείων και κατ' επέκταση γίνεται εντατική χρήση του υπόγειου νερού για άρδευση, το νερό με υψηλή αγωγιμότητα δημιουργεί διαβρώσεις στα συστήματα διανομής του νερού, φραξίματα στους σωλήνες, τους σταλακτήρες και τα λοιπά εξαρτήματα άρδευσης και δημιουργεί προβλήματα σε φυτά ευαίσθητα στα άλατα όπως τα λαχανικά. Η ελιά και το αμπέλι που καλλιεργούνται σε μεγαλύτερα ποσοστά στην περιοχή (σχήμα 2.5), θεωρούνται φυτά μέτρια ανθεκτικά στα άλατα (η ελιά) και ευαίσθητα στα άλατα (το αμπέλι), συνεπώς το πότισμα με νερά υψηλής αλατότητας επηρεάζει σε κάποιο βαθμό την απόδοσή τους και την ποιότητα του τελικού προϊόντος.

Τα υπόγεια νερά της περιοχής παρουσιάζουν βάσει της λιθολογικής ταξινόμησης τις ακόλουθες τιμές θερμοκρασίας:

**α) νερά των τεταρτογενών σχηματισμών:** Τα υπόγεια νερά των τεταρτογενών σχηματισμών παρουσιάζουν υψηλές τιμές TDS, ανάλογες των αντίστοιχων τιμών ηλεκτρικής αγωγιμότητας EC. Τα ολικά διαλυμένα στερεά κυμαίνονται στην ξηρή περίοδο από 549 έως 2626  $\text{mg}/\text{l}$  με μέσο όρο 1585  $\text{mg}/\text{l}$  ενώ την υγρή αυξάνονται λίγο με ελάχιστη τιμή 498  $\text{mg}/\text{l}$ , μέγιστη 3033  $\text{mg}/\text{l}$  και μέσο όρο 1706  $\text{mg}/\text{l}$ . Εξαίρεση αποτελεί το πηγάδι No 24 με τιμή ολικών διαλυμένων αλάτων 198  $\text{mg}/\text{l}$ . Οι χαμηλές

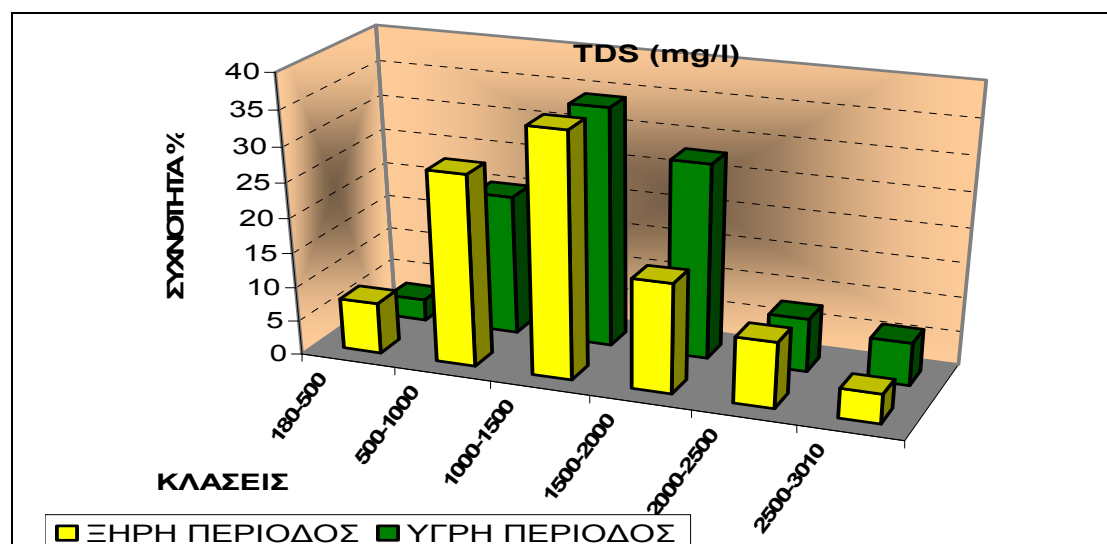
τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας και ολικών διαλυμένων αλάτων καθώς κι άλλων φυσικοχημικών παραμέτρων στο εν λόγω πηγάδι μας οδηγούν στο συμπέρασμα πως γίνεται δέκτης επιφανειακών υδάτων καλής ποιότητας.

**β) νερά των νεογενών σχηματισμών:** Οι μέσες τιμές TDS των υδάτων των νεογενών σχηματισμών είναι ελαφρώς μικρότερες των αντίστοιχων περιόδων των τεταρτογενών σχηματισμών. Την ξηρή περίοδο οι τιμές κυμαίνονται από 514 έως 2718mg/l ενώ την υγρή αυξάνονται ελάχιστα και κυμαίνονται από 662 έως 2868mg/l. Οι αντίστοιχες μέσες τιμές είναι 1358 και 1590mg/l.

**γ) νερά των καρστικών ανθρακικών σχηματισμών:** Οι τιμές των ολικών διαλυμένων στερεών των υπόγειων νερών των ανθρακικών σχηματισμών κυμαίνονται από 371-1896 mg/l την ξηρή περίοδο με μέσο όρο 1513 mg/l και από 341-1371 mg/l την υγρή περίοδο με μέσο όρο 1157 mg/l . Τα νερά των βαθύτερων ανθρακικών σχηματισμών έχουν τιμές TDS που ξεπερνούν τα 3500 mg/l την ξηρή περίοδο (3587-3768 mg/l ) και τιμές από 2456-2790 mg/l την υγρή.

Είναι χαρακτηριστική η αύξηση των TDS την υγρή περίοδο στα υπόγεια ύδατα των τεταρτογενών και νεογενών σχηματισμών, κάτι που δείχνει την εύκολη διαλυτοποίηση των αλάτων των σχηματισμών αυτών με το βρόχινο νερό. Αντίθετα, τα TDS στα υπόγεια νερά των ανθρακικών σχηματισμών μειώνονται την υγρή περίοδο. Η μείωση αποδίδεται προφανώς στον εμπλουτισμό του καρστικού υδροφορέα με φρέσκο γλυκό νερό.

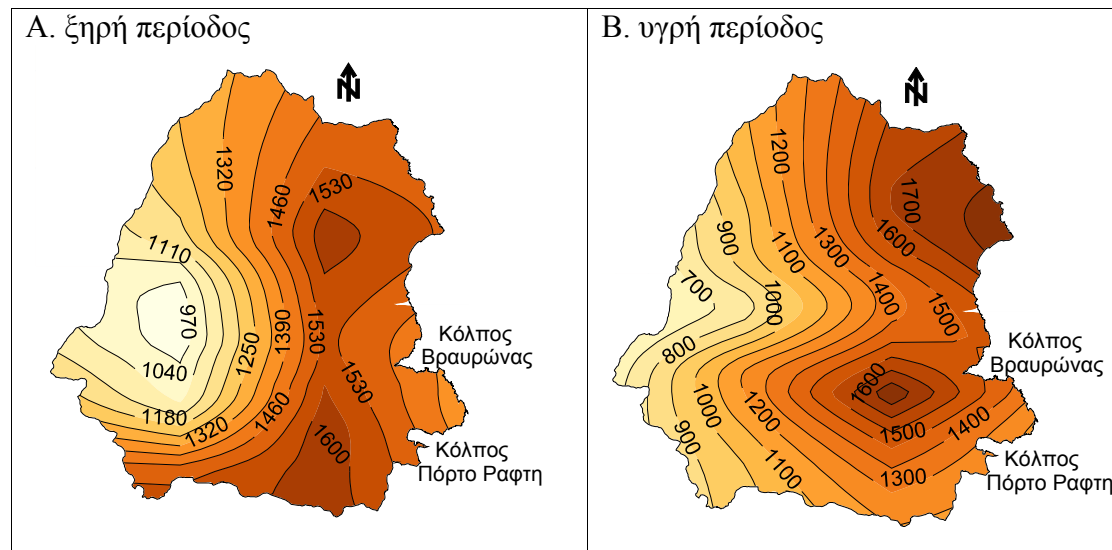
Στο σχήμα 8.9 παρουσιάζεται η κατηγοριοποίηση των υπόγειων υδάτων σε κλάσεις βάσει των τιμών ολικών διαλυμένων αλάτων απ' το οποίο παρατηρείται η επικράτηση των κλάσεων από 500-1500 mg/l την ξηρή περίοδο και από 1000-2000 mg/l την υγρή. Η αύξηση των τιμών που εμφανίζεται την υγρή περίοδο αποδίδεται, όπως προαναφέρθηκε, στην εύκολη διαλυτοποίηση των αλάτων των τεταρτογενών και νεογενών σχηματισμών.



Σχήμα 8.9: Ιστόγραμμα συχνοτήτων των TDS στα υπόγεια νερά της περιοχής

Η χωρική κατανομή των TDS στην περιοχή έρευνας παρουσιάζει ομοιότητες με αυτήν της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (σχήμα 8.10). Οι τιμές TDS έχουν αυξητική τάση προς την ακτογραμμή Ραφήνα-Άρτεμις-Μαρκόπουλο. Την ξηρή περίοδο παρουσιάζεται αυξητική τάση και προς το Κορωπί, κάτι που δεν παρατηρείται την υγρή περίοδο. Η βελτίωση της ποιότητας των υπόγειων υδάτων την υγρή περίοδο στην περιοχή του Κορωπίου αποδίδεται στον εμπλουτισμό αυτών με φρέσκο νερό που κατεισδύει απ' τους ανθρακικούς σχηματισμούς στους πρόποδες του Υμηττού.

Οι υψηλές συγκεντρώσεις που παρουσιάζονται στην ευρύτερη περιοχή του Μαρκόπουλου αποδίδονται στις υψηλές τιμές δύο γεωτρήσεων (No 72 και 73) που εκμεταλλεύονται τον καρστικό υδροφόρο και έχουν υποστεί υφαλμύριση λόγω της διείσδυσης της θάλασσας.



Σχήμα 8.10: Χωρική κατανομή των TDS των υπόγειων υδάτων

#### 8.4.1.5 Σκληρότητα

Η σκληρότητα εκφράζει το σύνολο των διαλυμένων αλάτων ασβεστίου ( $\text{Ca}^{2+}$ ) και μαγνησίου ( $\text{Mg}^{2+}$ ) που συνδέονται με οποιοδήποτε άλλο στοιχείο στο υδατικό διάλυμα. Τα στοιχεία  $\text{Ca}^{2+}$  και  $\text{Mg}^{2+}$  είναι κυρίως γεωγενούς προέλευσης και η παρουσία τους στα υπόγεια νερά συνδέονται με την αποσάθρωση των πετρωμάτων, με τα οποία έχει έρθει σε επαφή το νερό κατά το στάδιο της κατείσδυσης του.

Βάσει του βαθμού σκληρότητας τα υπόγεια νερά ταξινομούνται στις ακόλουθες κατηγορίες (Πίνακας 8.15):

Πίνακας 8.15: Αξιολόγηση των υδάτων βάσει της σκληρότητας σε °dH (Hoell, 1979)

Ολική σκληρότητα (Γερμ. βαθμοί °dH)	Χαρακτηρισμός
0-4	Πολύ μαλακό
4-8	Μαλακό
8-18	Μέτρια σκληρό
18-30	Σκληρό
>30	Πολύ σκληρό

Το σκληρό νερό είναι ανεπιθύμητο για οικιακή χρήση, καθόσον δημιουργεί προβλήματα σε σωληνώσεις κι οικιακές συσκευές, εμποδίζει το βράσιμο των τροφίμων κι εμποδίζει τη δημιουργία αφρού κατά την πλύση με σαπούνι. Προβλήματα επίσης δημιουργούνται στη βιομηχανική και γεωργική χρήση του σκληρού νερού. Ωστόσο, η σκληρότητα θεωρείται επιθυμητή στη ζυθοποιία και την αρτοποιία διότι βοηθά την ενζυματική δράση. Επίσης η κατανάλωση σκληρού νερού απ' τον άνθρωπο θεωρείται ευεργετική γιατί έχει συσχετισθεί με τη μείωση των καρδιαγγειακών παθήσεων.

Η ενδεικτική τιμή της σκληρότητας για το πόσιμο νερό είναι μεταξύ 80 – 150 mg/l  $\text{CaCO}_3$  (4,5-8,5 °dH), ωστόσο, νερά με σκληρότητα 500 mg/l  $\text{CaCO}_3$  (28 °dH) θεωρούνται πόσιμα (Παπά 2001, Καλλέργης 2000).

Η σκληρότητα των νερών διακρίνεται σε :

**i) Ολική σκληρότητα (ΟΣ):** Η ολική σκληρότητα εκφράζει το σύνολο των διαλυμένων αλάτων ασβεστίου  $\text{Ca}^{2+}$  και μαγνησίου  $\text{Mg}^{2+}$  που συνδέονται με οποιοδήποτε άλλο στοιχείο στο υδατικό διάλυμα.

**ii) Ανθρακική ή παροδική σκληρότητα (ΠΣ):** Η ανθρακική ή παροδική σκληρότητα ορίζεται ως το σύνολο των κατιόντων ασβεστίου  $\text{Ca}^{2+}$  και μαγνησίου  $\text{Mg}^{2+}$  που είναι ενωμένα με την οξυανθρακική ρίζα ( $\text{HCO}_3^-$ ), συνεπώς είναι μία ένδειξη της συγκέντρωσης των διαλυμένων ιόντων  $\text{CO}_3^{2-}$  και  $\text{HCO}_3^-$  στο νερό. Η ανθρακική σκληρότητα βοηθά στη σταθεροποίηση της τιμής του pH. Η σημαντικότητά της στα υδάτινα οικοσυστήματα είναι σπουδαία καθότι χαμηλές τιμές ανθρακικής σκληρότητας (<50ppm) δείχνουν όξινες και συνεπώς τοξικές συνθήκες για τα υδρόβια όντα. Υπόγεια νερά με υψηλή ανθρακική σκληρότητα (>200ppm) έχουν συνήθως και υψηλό pH.

**iii) Μόνιμη σκληρότητα (ΜΣ):** Η μόνιμη σκληρότητα προκύπτει από τη διαφορά μεταξύ της ολικής σκληρότητας και της ανθρακικής σκληρότητας. Αυτή οφείλεται στην ύπαρξη των υπολοίπων ιόντων ασβεστίου  $\text{Ca}^{2+}$  και μαγνησίου  $\text{Mg}^{2+}$  που συνδέονται με τα θειικά, τα χλώρια, τα νιτρικά και φωσφορικά ιόντα.

Τα υπόγεια νερά της περιοχής παρουσιάζουν βάσει της λιθολογικής ταξινόμησης τις ακόλουθες τιμές ολικής, ανθρακικής και μόνιμης σκληρότητας:

**α) νερά των τεταρτογενών σχηματισμών:**

-Η ολική σκληρότητα των υπόγειων υδάτων των τεταρτογενών σχηματισμών κυμαίνεται από 16,7-77,7 °dH την ξηρή περίοδο και από 14,2-63,9 °dH την υγρή περίοδο. Οι αντίστοιχοι μέσοι όροι είναι 36,9 °dH και 34,3 °dH. Τα νερά των σχηματισμών αυτών ανήκουν στα σκληρά και πολύ σκληρά νερά (πίνακες 8.2-8.3).

-Η ανθρακική σκληρότητα κυμαίνεται κατά την ξηρή περίοδο μεταξύ 4,6 και 37,5 °dH με μέση τιμή 15,9 °dH, ενώ κατά την υγρή περίοδο μεταξύ 13,5 και 36,7 °dH με μέση τιμή 21,8 °dH.

-Η μόνιμη σκληρότητα κυμαίνεται από 0,0 έως 53,7 °dH κατά την ξηρή περίοδο, ενώ κατά την υγρή περίοδο από 0,0 έως 41,1 °dH.

**β) νερά των νεογενών σχηματισμών:**

-Η ολική σκληρότητα των υδάτων των νεογενών σχηματισμών παρουσιάζει μεγαλύτερα εύρη τιμών και μεγαλύτερες μέγιστες τιμές απ' τις αντίστοιχες των τεταρτογενών σχηματισμών, ωστόσο οι μέσοι όροι αυτών είναι παραπλήσιοι. Οι τιμές κυμαίνονται την ξηρή περίοδο από 10,6 έως 82,8 °dH με μέσο όρο 33,9 °dH και την υγρή από 12,9 έως 107,5 °dH με μέσο όρο 39,4 °dH. Τα νερά των σχηματισμών αυτών χαρακτηρίζονται επίσης ως σκληρά και πολύ σκληρά.

-Η ανθρακική σκληρότητα παρουσιάζει κυμαινόμενο εύρος τιμών μεταξύ 9,7 °dH και 32,6 °dH με μέση τιμή 19,1 °dH κατά την ξηρή περίοδο, ενώ κατά την υγρή περίοδο οι τιμές κυμαίνονται μεταξύ 7,5 και 32,8 °dH με μέση τιμή 21,8 °dH.

-Η μόνιμη σκληρότητα των υπόγειων νερών των νεογενών σχηματισμών παρουσιάζουν μέση τιμή 14,9 °dH την ξηρή και 17,9 °dH την υγρή περίοδο.

**γ) νερά των ανθρακικών σχηματισμών:**

-Η ολική σκληρότητα των καρστικών υπόγειων νερών διαφοροποιείται έντονα μεταξύ των υδροσημείων που δεν έχουν υποστεί την επίδραση της θάλασσας και εκείνων που χαρακτηρίζονται από την θαλάσσια διείσδυση. Οι τιμές στα αβαθή πηγάδια και γεωτρήσεις κυμαίνονται την ξηρή περίοδο από 7,8 έως 47,4 °dH και την υγρή περίοδο από 8,6-38,6 °dH. Αντίθετα, οι τιμές στα ύδατα των υφαλμυρισμένων βαθιών γεωτρήσεων βρίσκονται σε υψηλότερα επίπεδα και κυμαίνονται από 63,6-76,4 °dH την ξηρή περίοδο και από 64,3-66,7 °dH την υγρή.

-Η ανθρακική σκληρότητα παρουσιάζει μέση τιμή 17,2 °dH κατά την ξηρή και 18,4 °dH την υγρή περίοδο.

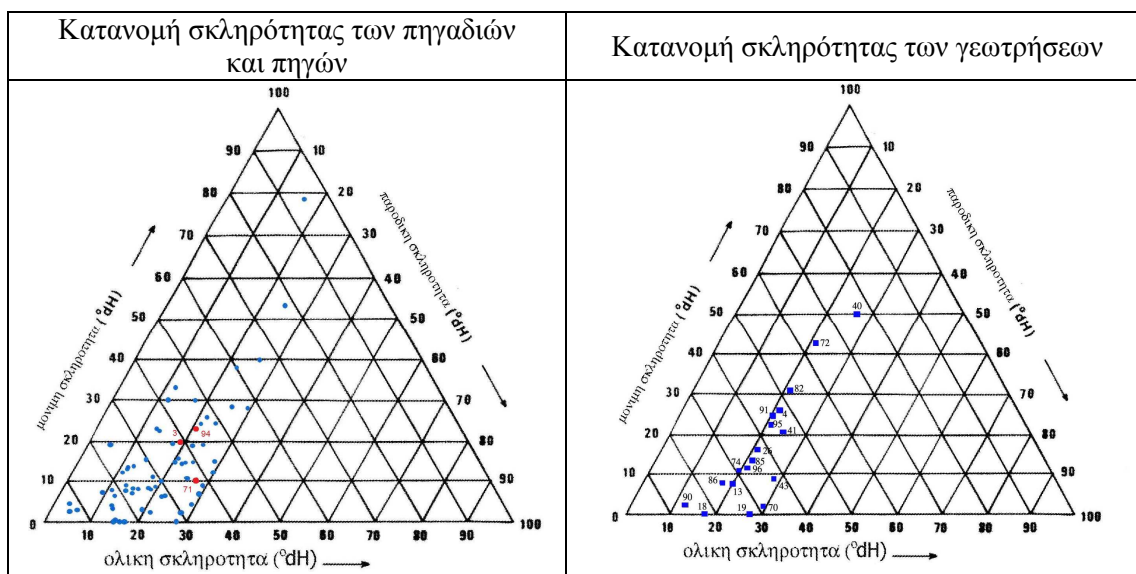


-Η μόνιμη σκληρότητα παρουσιάζει μέση τιμή 13,1<sup>o</sup>dH την ξηρή και 13,6<sup>o</sup>dH την υγρή περίοδο.

Γενικά διαπιστώνεται ότι τα νερά της περιοχής έρευνας είναι στην πλειοψηφία τους σκληρά και κυρίως πολύ σκληρά, σύμφωνα με την κλίμακα αξιολόγησης σε γερμανικούς βαθμούς <sup>o</sup>dH (πίνακας 8.15).

Σε γενικές γραμμές η ολική σκληρότητα όλων των υπόγειων νερών της περιοχής έρευνας κυμαίνεται σε υψηλά επίπεδα. Βασικοί παράγοντες της υψηλής σκληρότητας αποτελούν οι υψηλές συγκεντρώσεις των ιόντων ασβεστίου και του μαγνησίου, αλλά και των θεικών που αυξάνουν την παρουσία της μόνιμης σκληρότητας. Υψηλές τιμές παρατηρούνται τόσο στα υπόγεια νερά της παράκτιας ζώνης, όσο και στα υπόγεια νερά της ενδοχώριας περιοχής. Κύρια πηγή προέλευσης των στοιχείων αυτών είναι οι ευδιάλυτοι μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι, τα υπολειμματικά εβαποριτικά άλατα που προφανώς συνυπάρχουν εντός των νεογενών σχηματισμών (Stamatis et al. 2006) καθώς επίσης κι η διείδυση θαλασσινού νερού που επηρεάζει ιδιαίτερα την παράκτια ζώνη.

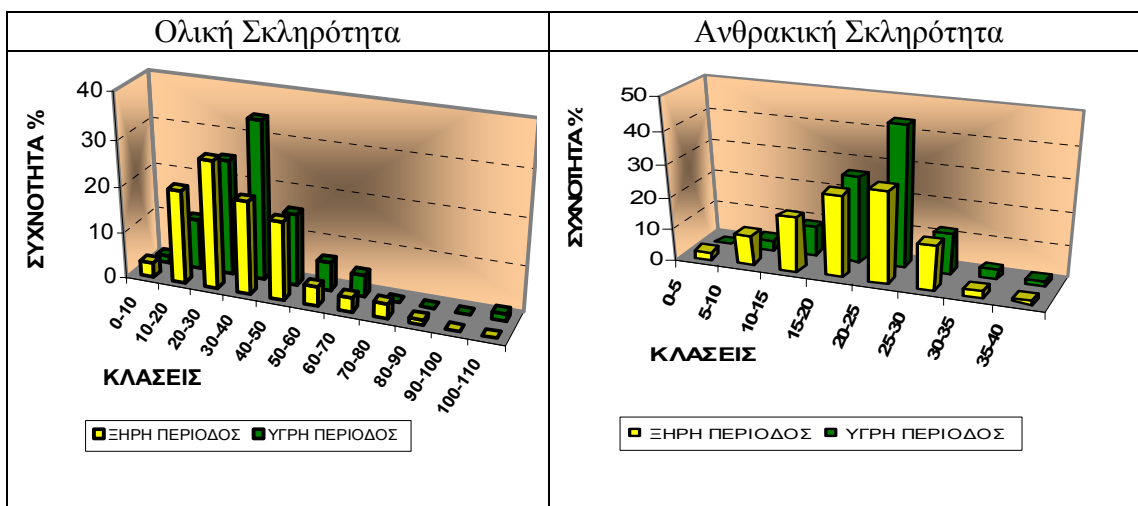
Οι σκληρότητες των υδάτων της περιοχής έρευνας παρουσιάζονται στα διαγράμματα σκληρότητας (σχήμα 8.11). Διαπιστώνεται διασπορά των τιμών, ιδιαίτερα της μόνιμης σκληρότητας στα πηγάδια και τις γεωτρήσεις, η οποία κυμαίνεται από 0 έως 91,9 <sup>o</sup>dH. Αντίθετα η παροδική σκληρότητα περιορίζεται σε μικρότερο εύρος μεταξύ 0 και 30 <sup>o</sup>dH.



**Σχήμα 8.11:** Κατανομή της σκληρότητας των πηγαδιών, πηγών και των γεωτρήσεων στο τριγωνικό διάγραμμα σκληρότητας

Η κατηγοριοποίηση των υδάτων της περιοχής σε κλάσεις ολικής και ανθρακικής σκληρότητας φαίνεται στα ιστογράμματα του σχήματος 8.12. Η επικρατούσα κλάση την ξηρή περίοδο είναι από 20-30 <sup>o</sup>dH ενώ την υγρή από 30-40 <sup>o</sup>dH. Η αύξηση της σκληρότητας των υδάτων την υγρή περίοδο οφείλεται στη διαλυτοποίηση των αλάτων των τεταρτογενών και νεογενών σχηματισμών με το βρόχινο νερό.

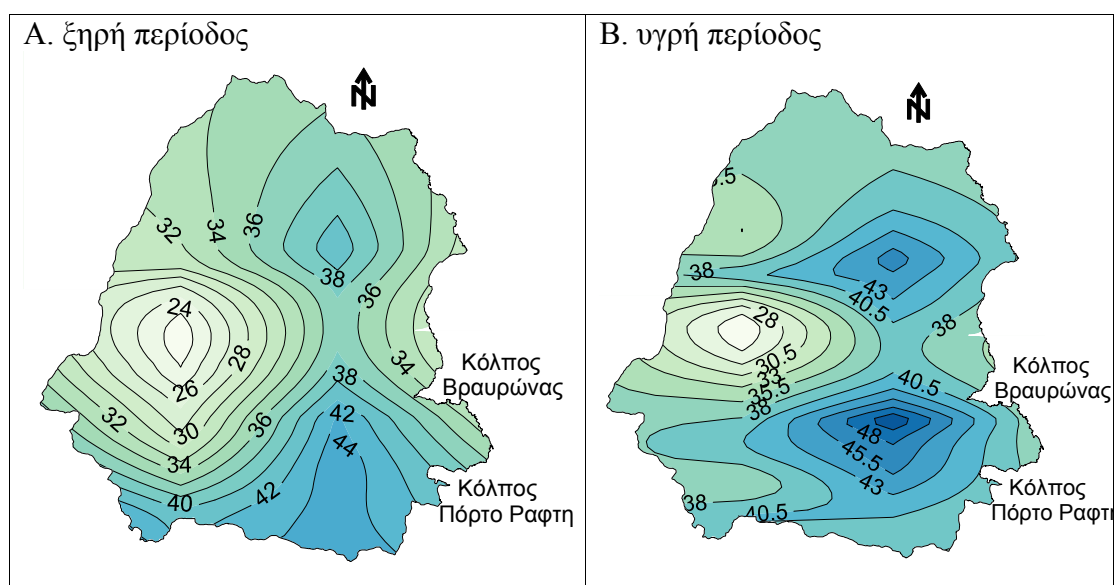




**Σχήμα 8.12:** Ιστόγραμμα συχνοτήτων ολικής και ανθρακικής σκληρότητας (°dH) στα υπόγεια νερά της περιοχής

Η χωρική κατανομή της ολικής σκληρότητας στην περιοχή (σχήμα 8.13) παρουσιάζει ομοιότητες την ξηρή και υγρή περίοδο, με αυξητικές τάσεις προς την παράκτια ζώνη. Τα υψηλά επίπεδα σκληρότητας που εμφανίζονται στις περιοχές μεταξύ Μαρκόπουλου-Βραυρώνας και Σπάτων-Ραφήνας αποδίδονται στα υπόγεια νερά του καρστικού υδροφόρου που έχουν υποστεί υφαλμύριση λόγω της διείσδυσης της θάλασσας.

Η χωρική κατανομή της ολικής σκληρότητας παρουσιάζει ομοιότητες με αυτή των ολικών διαλυμένων αλάτων και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Προφανώς οι αυξημένες τιμές οφείλονται στην διάλυση των πετρωμάτων που είναι πλούσια στα αντίστοιχα στοιχεία όπως οι εβαπορίτες. Προγενέστερες έρευνες επιβεβαιώνουν την ύπαρξη σκληρών νερών στην περιοχή (Κούνης 1979, 1998, Alexakis & Kelepertsis 1998, Αλεξάκης 2002, Χαμπίδη 2005, Stamatis et al. 2006, Bathrellos et al. 2008).



**Σχήμα 8.13:** Χωρική κατανομή της ολικής σκληρότητας (°dH) των υπόγειων νερών

## 8.4.2 Κύρια στοιχεία και ιχνοστοιχεία

Τα κύρια στοιχεία βρίσκονται στα πόσιμα νερά σε μεγάλες συγκεντρώσεις και αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι της ανθρώπινης διατροφής και της σύνθεσης του ανθρώπινου σώματος. Τα περισσότερα απ' τα βασικά στοιχεία, σε αντίθεση με τα βαρέα μέταλλα, δεν παρουσιάζουν τοξικότητα σε μεγάλες συγκεντρώσεις, ωστόσο η υπερβολική κατανάλωσή τους μπορεί να προκαλέσει διάφορες παρενέργειες. Η ύπαρξη μεγάλων συγκεντρώσεων στα υπόγεια νερά οφείλεται κυρίως στη διάλυση των ορυκτών των πετρωμάτων. Ανθρωπογενείς παράγοντες όπως αποχετεύσεις, υπόνομοι, απόβλητα, σκουπίδια, ρίψη λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων κ.α. συμβάλλουν επίσης στην αύξηση ορισμένων στοιχείων.

Από την πλευρά των κατιόντων υπερτερούν τα ιόντα  $\text{Ca}^{2+}$  (46,4-492,4 mg/l) και  $\text{Na}^+$  (11,0-613,0 mg/l), ενώ από την πλευρά των ανιόντων την πρώτη θέση κατέχουν τα  $\text{HCO}_3^-$  (155,6-933,3 mg/l) και ακολουθούν τα ιόντα  $\text{Cl}^-$  (12,4-1115,3 mg/l) και  $\text{SO}_4^{2-}$  (18,0-577,9 mg/l). Η παρουσία των στοιχείων αυτών σχετίζεται τόσο με τα γεωχημικά χαρακτηριστικά των σχηματισμών που δομούν την περιοχή έρευνας, όσο και με την άμεση επαφή της περιοχής έρευνας με την θάλασσα. Τα υπόγεια νερά προέρχονται κυρίως από τους μαργαϊκούς ασβεστόλιθους και τους ασβεστιτικούς ψαμμίτες της σειράς του Νεογενούς και σε μικρό ποσοστό από τα μάρμαρα του κρυσταλλικού υποβάθρου. Τα ιζήματα του Νεογενούς χαρακτηρίζονται ως αποθέσεις λιμνοθαλάσσιας προέλευσης. Προφανώς η παρουσία ευδιάλυτων ορυκτών όπως είναι οι εβαπορίτες, συμβάλλουν σημαντικά στον εμπλουτισμό των υπόγειων νερών της περιοχής στα προαναφερόμενα στοιχεία.

### 8.4.2.1 Ασβέστιο ( $\text{Ca}^{2+}$ )

Η ύπαρξη ασβεστίου στα υπόγεια νερά οφείλεται στη διάλυση ορυκτών, πλούσια σε Ca όπως ο ασβεστίτης ( $\text{CaCO}_3$ ), ο δολομίτης, το ολιγόκλαστο, το επίδοτο [ $\text{Ca}_2(\text{FeAl})\text{Al}_2(\text{SiO}_4)(\text{SiO}_7)\text{O}(\text{OH})$ ], ο γύψος ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), ο ανυδρίτης ( $\text{CaSO}_4$ ), ο ανορθίτης ( $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ ), οι αμφίβολοι, οι πυρόξενοι, οι άστριοι, οι αραγωνίτες και τα αργιλικά ορυκτά ή σε διάλυση πετρωμάτων όπως ο ασβεστόλιθος, τα κροκαλοπαγή, οι ασβεστολιθικοί ψαμμίτες κι οι ασβεστολιθικές μάργες (Apello & Postma, 1996). Τα περισσότερα από τα προαναφερόμενα πετρώματα εμφανίζονται στην περιοχή έρευνας. Η συγκέντρωση του Ca στα διάφορα πετρώματα είναι: στα μαγματικά πετρώματα στα 36.200 mg/kg, στους ψαμμίτες 22.400 mg/kg, στους αργίλους 22.500 mg/kg, στα ανθρακικά πετρώματα 272.000 mg/kg και στους εβαπορίτες 11.100 mg/kg (Matthess, 1973).

Οι συνήθεις συγκεντρώσεις του ασβεστίου σε φυσικά υπόγεια νερά κυμαίνονται μεταξύ 2 και 80 mg/l (Apello & Postma, 1996).

Το ασβέστιο αποτελεί βασικό στοιχείο του ανθρώπινου σώματος, απαραίτητο για την υγεία των οστών. Το 99% του ολικού ασβεστίου που υπάρχει στο ανθρώπινο σώμα βρίσκεται στον σκελετό και τα δόντια ενώ το υπόλοιπο 1% βρίσκεται στο αίμα και σε άλλους ιστούς. Η αναλογία Ca:P στα οστά είναι λίγο μεγαλύτερη από 2:1 και είναι πάντα σταθερή.

Η σημαντικότητα του ασβεστίου για τον ανθρώπινο οργανισμό έγκειται στο γεγονός ότι κρατά σε καλή κατάσταση τα οστά και τα δόντια, ρυθμίζει την λειτουργία της καρδιάς, ελέγχει την αϋπνία, μειώνει την αρτηριακή πίεση, βοηθά στην κατάλληλη λειτουργία των μυών και των νεύρων, μειώνει τη χοληστερίνη και μειώνει τις πιθανότητες εμφάνισης καρκίνου του παχέως εντέρου (Σιμώνης, 1998).

Η έλλειψη ασβεστίου στην ανθρώπινη διατροφή μπορεί να προκαλέσει διάφορες ασθένειες όπως οστεοπόρωση, πρόωρες γεννήσεις, υπέρταση και ανάπτυξη πέτρας στα νεφρά. Ο συνδυασμός έλλειψης Ca και P μπορεί να προκαλέσει ραχίτιδα, μια

παιδική ασθένεια που χαρακτηρίζεται από μαλακά οστά αδύναμα ν' αντέξουν το σωματικό βάρος, στραβά πόδια, βαθουλωμένα γόνατα και προτεταμένο στήθος (McDonnel, 1992). Η αντίστοιχη ασθένεια στους ενήλικες ονομάζεται οστεομαλάκυνση παρουσιάζοντας πόνους στα οστά, μυϊκή αδυναμία και αργή αποθεραπεία των καταγμάτων. Η συνιστώμενη ημερήσια δόση ασβεστίου στην ανθρώπινη διατροφή δεν ξεπερνά τα 2,5 gr ([www.tjclarkinc.com/minerals](http://www.tjclarkinc.com/minerals)). Το ενδεικτικό επίπεδο της συγκέντρωσης Ca στα πόσιμα νερά σύμφωνα με την οδηγία 80/778/15-7-80 της Ε.Ε. είναι 100mg/l.

Τα υπόγεια νερά της περιοχής παρουσιάζουν βάσει της λιθολογικής ταξινόμησης τους τις ακόλουθες τιμές συγκέντρωσης ασβεστίου:

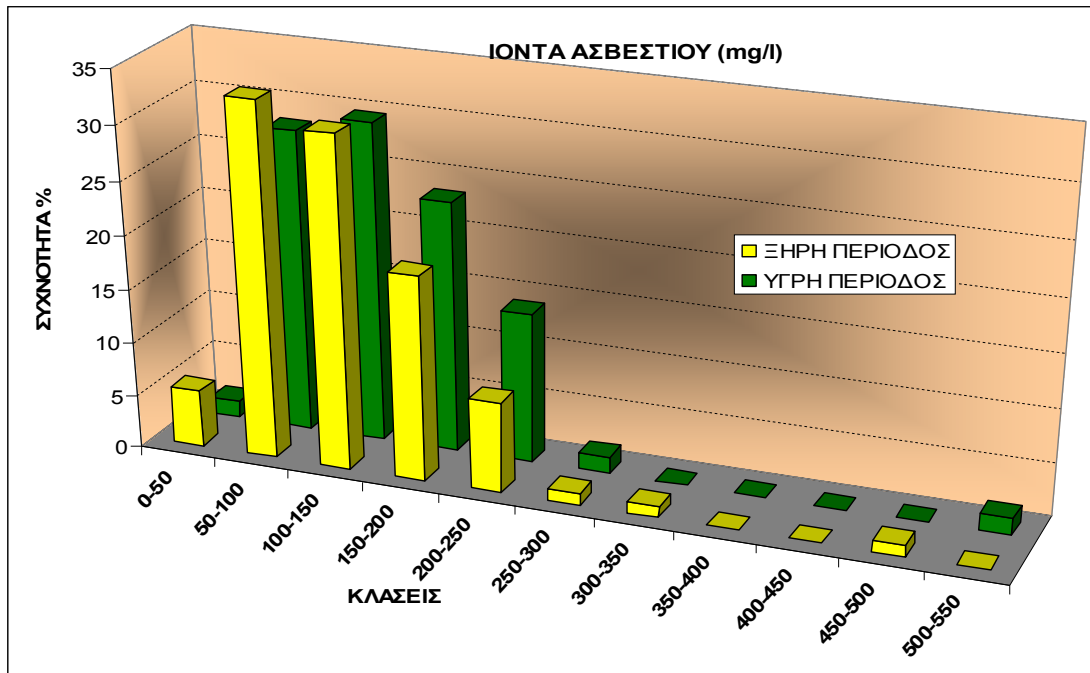
**α) νερά των τεταρτογενών σχηματισμών:** Οι συγκεντρώσεις ασβεστίου στα υπόγεια νερά των τεταρτογενών σχηματισμών κυμαίνονται την ξηρή περίοδο μεταξύ 79,2 και 284,8 mg/l, με μέσο όρο 154,6 mg/l και την υγρή περίοδο μεταξύ 88 και 236,4 mg/l με μέσο όρο 146,5 mg/l. Εξετάζοντας μεμονωμένα τις συγκεντρώσεις Ca κάθε δείγματος πηγαδιού ή πηγής παρατηρούνται παραπλήσιες τιμές μεταξύ ξηρής και υγρής περιόδου, κάτι που υποδηλώνει τη γεωγενή προέλευση του ασβεστίου στα νερά αυτά (ασβεστολιθικά κομμάτια σε κορήματα και κώνους κορημάτων, Lepsius, 1893). Τη μικρότερη συγκέντρωση σε όλα τα νερά παρουσιάζει το ρηχό πηγάδι No 24 (31,2 mg/l) που προφανώς επηρεάζεται από επιφανειακές στραγγίσεις καλής ποιότητας νερού ύδρευσης.

**β) νερά των νεογενών σχηματισμών:** Οι συγκεντρώσεις ασβεστίου στα υπόγεια νερά των νεογενών σχηματισμών παρουσιάζουν μικρότερες τιμές από αυτές των τεταρτογενών αποθέσεων. Εξαίρεση αποτελεί το πηγάδι No 59 στο οποίο ανιχνεύθηκαν οι υψηλότερες συγκεντρώσεις Ca σε όλα τα νερά της περιοχής (492,4 την ξηρή και 542,8 mg/l την υγρή περίοδο). Το πηγάδι αυτό πιθανότατα βρίσκεται στους ψαμμίτες του Κορωπίου, των οποίων οι χαλαζιακοί κόκκοι συνδέονται με ασβεστολιθικό τσιμέντο (Lepsius, 1893). Οι συγκεντρώσεις ασβεστίου κυμαίνονται στους νεογενείς σχηματισμούς μεταξύ 42,4-312,4 mg/l την ξηρή περίοδο και μεταξύ 50-228 mg/l την υγρή περίοδο. Οι υψηλότερες τιμές των σχηματισμών αυτών απαντώνται στην περιοχή του Κορωπίου.

**γ) νερά των καρστικών ανθρακικών σχηματισμών:** Τα νερά των ανθρακικών σχηματισμών παρουσιάζουν χαμηλότερους μέσους όρους συγκεντρώσεων συγκριτικά με τα νερά των άλλων σχηματισμών, ήτοι 123,2 mg/l την ξηρή και 136,6 mg/l την υγρή περίοδο. Οι συγκεντρώσεις ασβεστίου στα αβαθή πηγάδια και γεωτρήσεις κυμαίνονται από 45,6 έως 164,8 mg/l την ξηρή και από 51,2 έως 164,0 mg/l την υγρή περίοδο. Αντίθετα οι τιμές στα νερά των βαθύτερων ανθρακικών σχηματισμών κυμαίνονται την ξηρή περίοδο από 137,6 έως 244,8 mg/l και την υγρή από 206,0 έως 258,4 mg/l. Η ύπαρξή τους αποδίδεται στα ασβεστολιθικά πετρώματα του υποβάθρου και στη διείσδυση της θάλασσας στον υδροφόρο (Αλεξιάκης & Κελεπερτζής 1998, Bathrellos et al. 2008).

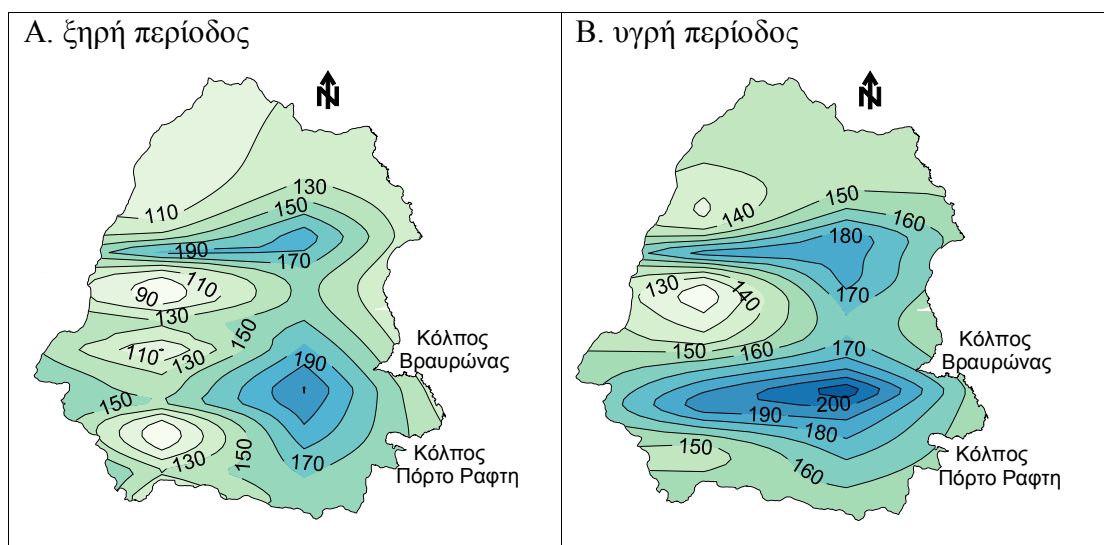
Στο σχήμα 8.14 παρουσιάζεται η κατηγοριοποίηση των συγκεντρώσεων Ca των υπόγειων νερών της περιοχής σε κλάσεις. Παρατηρούμε την επικράτηση τριών κλάσεων: από 50-100, 100-150 και 150-200 mg/l, τόσο την ξηρή όσο και την υγρή περίοδο.

Σε προγενέστερες υδρογεωλογικές έρευνες στην περιοχή έρευνας εντοπίστηκαν παρεμφερείς συγκεντρώσεις ασβεστίου, ήτοι 100-592mg/l (Χαμπίδη, 2005) , 51,1-169mg/l (Stamatis et al. ,2006). Στην έρευνα των Alexakis and Kelepertsis (1998) οι συγκεντρώσεις ασβεστίου που βρέθηκαν (51,1-169mg/l) εντοπίζονται εντός των τριών επικρατέστερων κλάσεων της παρούσας έρευνας.



Σχήμα 8.14: Ιστόγραμμα συχνοτήτων συγκεντρώσεων  $\text{Ca}^{2+}$  στα νερά της περιοχής (σε mg/l)

Η χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων Ca στα υπόγεια νερά της περιοχής αποτυπώνεται στο σχήμα 8.15. Η ομοιότητα των ισοπεριετικών καμπυλών Ca μεταξύ ξηρής και υγρής περιόδου επιβεβαιώνει την ανεπαίσθητη αλλαγή των συγκεντρώσεων στα δείγματα υπόγειων υδάτων μεταξύ των δύο περιόδων. Η αυξημένη παρουσία του ασβεστίου στην παράκτια ζώνη αποδίδεται σε διείσδυση της θάλασσας στον υδροφόρο (Bathrellos et al. 2008, Αλεξιάκης & Κελεπερτζής 1998). Η παρουσία αυξημένων συγκεντρώσεων στο Μαρκόπουλο αποδίδεται στις υψηλές τιμές των δύο υπόγειων υδάτων του καρστικού υδροφόρου (No 72 και 73) που έχουν υποστεί υφαλμύριση λόγω της διείσδυσης της θάλασσας.



Σχήμα 8.15: Χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων Ca των υπόγειων υδάτων (mg/l)

Γενικά, τα νερά της περιοχής είναι πλούσια σε  $\text{Ca}^{2+}$ . Η προέλευσή του είναι κυρίως γεωγενής, προκύπτοντας από τη διάλυση ανθρακικών πετρωμάτων και ορυκτών πλούσιων σε Ca που υπάρχουν στους ιζηματογενείς σχηματισμούς. Η παρουσία του στα βαθύτερα στρώματα οφείλεται κυρίως στη διείσδυση της θάλασσας στον υδροφόρο. Μικρό ποσοστό είναι ανθρωπογενούς προέλευσης, που συνδυάζεται με τη χρήση λιπασμάτων κι εδαφοβελτιωτικών.

#### 8.4.2.2 Μαγνήσιο ( $\text{Mg}^{2+}$ )

Κύριες πηγές προέλευσης του μαγνησίου στα υπόγεια νερά είναι τα μαγνησιούχα ορυκτά όπως ο δολομίτης ( $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ ), ο μαγνησίτης ( $\text{MgCO}_3$ ), ο ολιβίνης ( $\text{Mg, Fe}_2\text{SiO}_4$ ), ο καρναλίτης ( $\text{KCl} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ), ο πολυαλίτης [ $\text{K}_2\text{Ca}_2\text{Mg}(\text{SO}_4)_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ], οι αμφίβολοι, οι πυρόξενοι, οι μαγνησίτες, οι σερπεντίνες, οι μαρμαρυγίες και τα αργιλικά ορυκτά. Τα πετρώματα που διακρίνονται για την υψηλή περιεκτικότητά τους σε μαγνησιούχα ορυκτά είναι οι δολομίτες, οι δολομιτικοί ψαμίτες, οι δολομιτικές κι οι μαγνησιούχες μάργες (Apello & Postma, 1996, Καλλέργης, 2000).

Η συγκέντρωση του Mg στα μαγματικά πετρώματα ανέρχεται στα 17.600mg/kg, στους ψαμίτες 8.100 mg/kg, στους αργίλους 16.4000mg/kg, στα ανθρακικά πετρώματα 45.300 mg/kg και στους εβαπορίτες 3.070mg/kg (Matthess, 1973). Οι συνήθεις ιοντικές συγκεντρώσεις του  $\text{Mg}^{2+}$  στα φυσικά υπόγεια νερά κυμαίνονται από 1,2 έως 48 mg/l (Apello & Postma, 1996).

Είναι το τέταρτο σε σειρά αφθονίας κατιόν στο ανθρώπινο σώμα με το 60% να βρίσκεται στα οστά και το υπόλοιπο 40% να κατανέμεται ισομερώς μεταξύ των μυϊκών και των μη μυϊκών ιστών. Παίζει σημαντικό ρόλο στη ρύθμιση της λειτουργίας της καρδιάς, στο μεταβολισμό του ασβεστίου και της βιταμίνης C καθώς επίσης και στη μετατροπή των σακχάρων του αίματος σε ενέργεια. Συνδέεται με διεργασίες που χρειάζονται ενέργεια όπως η μεταβίβαση, η μυϊκή συστολή, η σύνθεση πρωτεϊνών, λιπών και νουκλεϊνικών οξέων ([www.tjclarkinc.com/minerals](http://www.tjclarkinc.com/minerals)).

Το μαγνήσιο δρα ανταγωνιστικά του Ασβεστίου καθώς αντιδρά με στοιχεία όπως το κάλιο, τη βιταμίνη B6 και το βόριο. Διατροφή φτωχή σε μαγνήσιο μπορεί να προκαλέσει τετανία, νευρομυϊκή ερεθιστικότητα μαζί με χρόνια νεφρίτιδα καθώς κι άλλες παθήσεις (Aikawa 1971, Wacker 1980). Για έναν άνθρωπο μεγαλύτερο των 9 ετών συνίσταται κατανάλωση 350mg  $\text{Mg}^{2+}$ /day. Το ενδεικτικό επίπεδο της συγκέντρωσης ιόντων  $\text{Mg}^{2+}$  στα πόσιμα νερά είναι σύμφωνα με την οδηγία της Ε.Ε. 30mg/l και το μέγιστο επιτρεπτό όριο είναι 50mg/l.

Τα υπόγεια νερά της περιοχής παρουσιάζουν βάσει της λιθολογικής ταξινόμησης τους τις ακόλουθες τιμές συγκέντρωσης μαγνησίου:

**α) νερά των τεταρτογενών σχηματισμών:** Οι συγκεντρώσεις μαγνησίου στα υπόγεια νερά των τεταρτογενών σχηματισμών κυμαίνονται από 24,58 έως 164,7mg/l, με μέσο όρο 66,54mg/l την ξηρή περίοδο και από 7,99 έως 134,07 mg/l με μέσο όρο 59,85 mg/l την υγρή περίοδο. Το πηγάδι Νο 24 στη Ραφήνα παρουσιάζει συγκέντρωση μαγνησίου 4,95 mg/l που υποδηλώνει την θετική αλλοίωση της ποιότητάς του από εξωγενείς φυσικούς ή ανθρωπογενείς παράγοντες.

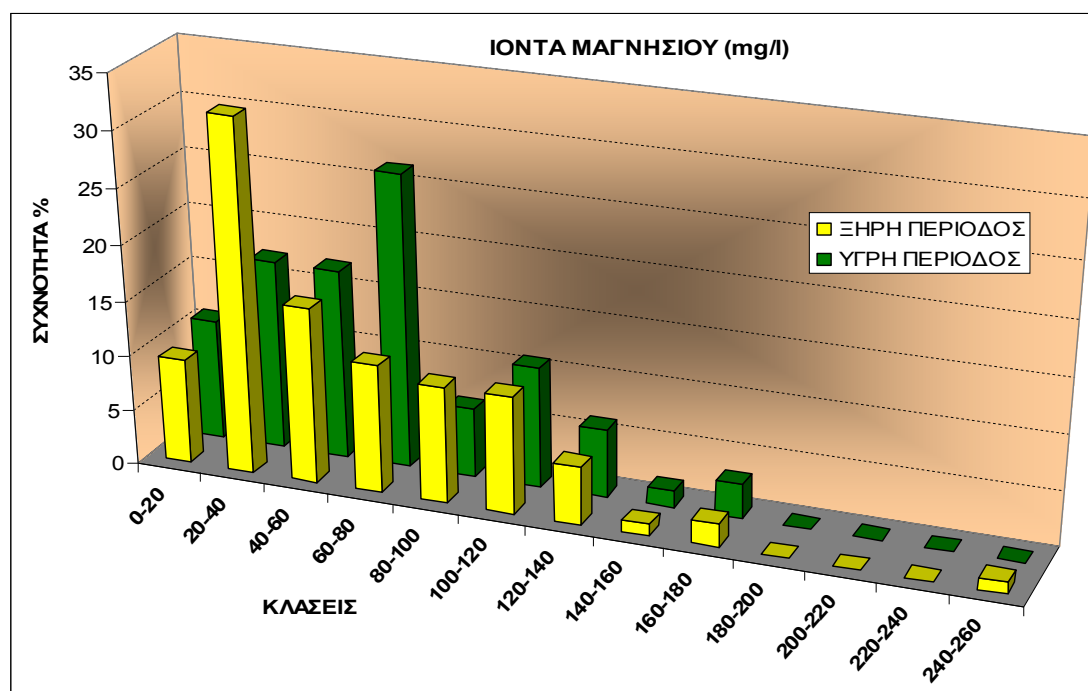
**β) νερά των νεογενών σχηματισμών:** Τα υπόγεια νερά των νεογενών σχηματισμών παρουσιάζουν ομοιότητες στις συγκεντρώσεις μαγνησίου με αυτές των τεταρτογενών αποθέσεων. Οι μέσοι όροι κυμαίνονται στα 66,5 mg/l την ξηρή και 76,28 mg/l την υγρή περίοδο με εύρη τιμών 12,45-165,39 mg/l την ξηρή και 14,06-170,66 mg/l την υγρή περίοδο. Οι υψηλές συγκεντρώσεις μαγνησίου οφείλονται σε φυσική επιβάρυνση και προκύπτουν απ' τη διάλυση κι αποσάθρωση των αργιλικών ορυκτών που εμφανίζονται στις μάργες των τριτογενών και τεταρτογενών αποθέσεων (Alexakis & Kelepertsis 1998, Κούνης 1998). Στην παράκτια ζώνη καθορίζονται από

τη διείσδυση της θάλασσας στον υδροφόρο, καθότι στην θάλασσα υπάρχουν συγκεντρώσεις  $Mg^{2+}$  μεγαλύτερες των 1000 mg/l (Καλλέργης, 2000). Έρευνα της ποιότητας του θαλασσινού νερού στην παράκτια ζώνη Σχινιάς – Ραφήνα – Αρτέμιδα έδειξε συγκέντρωση του θαλασσινού νερού σε μαγνήσιο 1.208mg/l (Ταγματάρχη, 2000).

γ) *νερά των καρστικών ανθρακικών σχηματισμών*: Οι συγκεντρώσεις μαγνησίου στα αβαθή πηγάδια και γεωτρήσεις των ανθρακικών σχηματισμών κυμαίνονται από 5,8 έως 119,5 mg/l την ξηρή κι από 6,5 έως 110,2 mg/l την υγρή περίοδο. Οι τιμές αυτές είναι χαμηλότερες των αντίστοιχων των τριτογενών και τεταρτογενών αποθέσεων. Αντίθετα οι συγκεντρώσεις μαγνησίου των υδάτων των κατώτερων ανθρακικών σχηματισμών που έχουν φθάσει στο επίπεδο της θάλασσας κυμαίνονται την ξηρή περίοδο μεταξύ 135,3-248,4 mg/l και την υγρή μεταξύ 206,0-258,4 mg/l. Οι τιμές αυτές είναι οι υψηλότερες σε όλη την περιοχή κι αποδίδονται στη διείσδυση της θάλασσας στον καρστικό υδροφόρο, της οποίας η σύνθεση περιέχει υψηλές συγκεντρώσεις μαγνησίου (Ταγματάρχη, 2000).

Στο σχήμα 8.16 παρουσιάζεται η κατηγοριοποίηση των υπόγειων υδάτων σε κλάσεις με βάση τις συγκεντρώσεις αυτών σε μαγνήσιο, απ' όπου προκύπτει η επικράτηση των κλάσεων 20-40 mg/l την ξηρή και 60-80 mg/l την υγρή περίοδο. Η αύξηση των συγκεντρώσεων μαγνησίου την υγρή περίοδο οφείλεται στην εύκολη διάλυση κι αποσάθρωση των αργιλικών ορυκτών που βρίσκονται εντός των μαργών των τριτογενών και τεταρτογενών αποθέσεων (Alexakis & Kelepertsis 1998, Κούνης 1998).

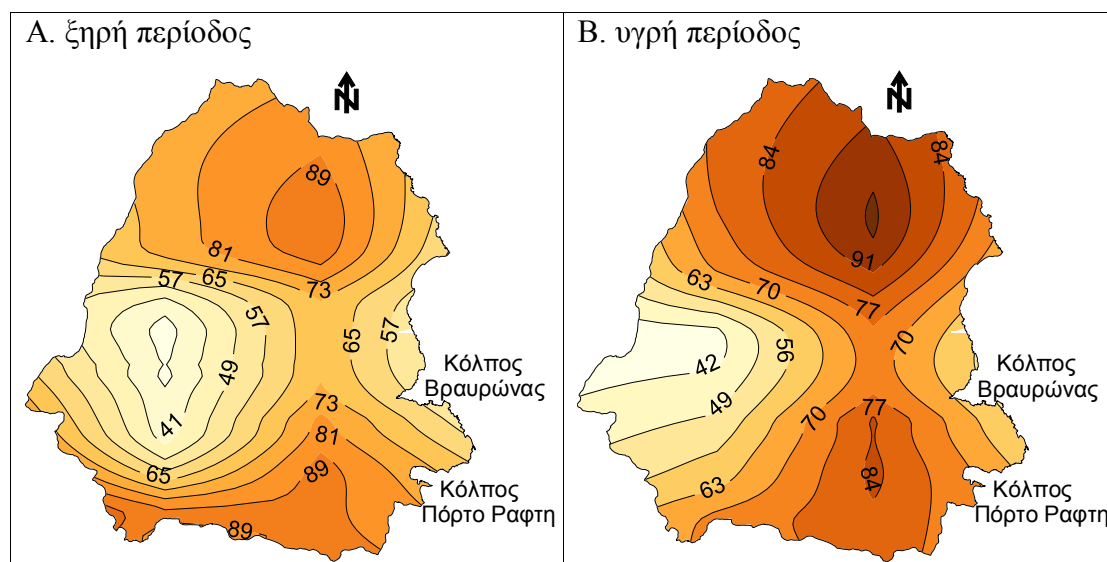
Οι συγκεντρώσεις μαγνησίου που βρέθηκαν σε προγενέστερες έρευνες της περιοχής έρευνας είναι παραπλήσιες και κυμαίνονται μεταξύ 6 και 318 mg/l (Stamatis et al., 2006), μεταξύ 22 και 201 mg/l (Χαμπίδη, 2005) και μεταξύ 6,22 και 139 mg/l (Alexakis and Kelepertsis, 1998).



Σχήμα 8.16 Ιστόγραμμα συχνοτήτων συγκεντρώσεων  $Mg^{2+}$  στα νερά της περιοχής (σε mg/l)

Στο σχήμα 8.17 παρουσιάζεται η χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων μαγνησίου στα υπόγεια νερά της περιοχής έρευνας. Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις

μαγνησίου απαντώνται στα ανατολικά τμήματα της περιοχής και συνδέονται αφενός μεν με τη διάλυση των πετρωμάτων και αφετέρου με τη διεύδυση της θάλασσας. Οι χαμηλότερες συγκεντρώσεις εμφανίζονται στα δυτικά περιθώρια της περιοχής, όπου προφανώς περιορίζεται η θαλάσσια επίδραση και η παρουσία του μαγνησίου σχετίζεται κυρίως με την λιθολογία του υδροφορέα.



Σχήμα 8.17: Χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων Mg των υπόγειων υδάτων (mg/l)

#### 8.4.2.3 Κάλιο ( $K^+$ )

Πηγή προέλευσης του καλίου στα υπόγεια νερά αποτελούν τα πλούσια σε K ορυκτά όπως είναι ο μοσχοβίτης ( $H_2KA_3Si_3O_{12}$ ), ο καρναλίτης ( $KCl \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$ ), το ορθόκλαστο ( $[SiO_4 \cdot SiO_2 \cdot SiO_2]Al_3K$ ) κι ο πολυαλίτης [ $K_2Ca_2Mg(SO_4)_4 \cdot 2H_2O$ ]. Γενικά η συγκέντρωση του K ανέρχεται στα μαγματικά πετρώματα στα 25.700mg/kg, στους ψαμμίτες 13.200 mg/kg, στους αργίλους 24.900mg/kg, στα ανθρακικά πετρώματα 2.390 mg/kg και στους εβαπορίτες 4.280mg/kg (Matthess, 1973).

Το  $K^+$  απαντάται στα φυσικά υπόγεια νερά σε συγκεντρώσεις οι οποίες κυμαίνονται από 0,19 έως 3,8 mg/l (Apello & Postma, 1996). Το θαλασσινό νερό περιέχει περίπου 392mg/l καλίου (Matthess, 1973).

Το κάλιο θεωρείται το πιο απαραίτητο κατιόν των κυττάρων στον ανθρώπινο οργανισμό. Το μεγαλύτερο μέρος βρίσκεται στα μυϊκά κύτταρα παίζοντας σπουδαίο ρόλο στη μετάδοση της νευρικής ώσης και τη συσταλτικότητα των μυών. Η ποσότητά του είναι ενδεικτική της μυώδους μάζας. Αποτελεί την κύρια βάση για τους ιστούς και τα αιμοσφαίρια και μετέχει στη ρύθμιση της οξοβασικής ισορροπίας (Σιμώνης, 1998).

Το κάλιο ρυθμίζει τη λειτουργία της καρδιάς και της αρτηριακής πίεσης και συνεισφέρει στην υγεία του δέρματος. Βρίσκεται άφθονο σε φρούτα και λαχανικά καθώς επίσης στο κρέας και τα δημητριακά. Η ενδεικτική κατανάλωση καλίου για έναν ενήλικα είναι γύρω στα 100 meq/day. Η ενδεικτική συγκέντρωση στα πόσιμα νερά σύμφωνα με την οδηγία της Ε.Ε. είναι 10 mg/l με ανώτατο όριο τα 12mg/l. Η αφθονία καλίου στην ανθρώπινη διατροφή θεωρείται ευεργετική και συμβάλλει στη μείωση των αγγειακών επεισοδίων ([www.tjclarkinc.com/minerals](http://www.tjclarkinc.com/minerals)).

Τα υπόγεια νερά της περιοχής παρουσιάζουν βάσει της λιθολογικής ταξινόμησης τους τις ακόλουθες τιμές συγκέντρωσης καλίου:



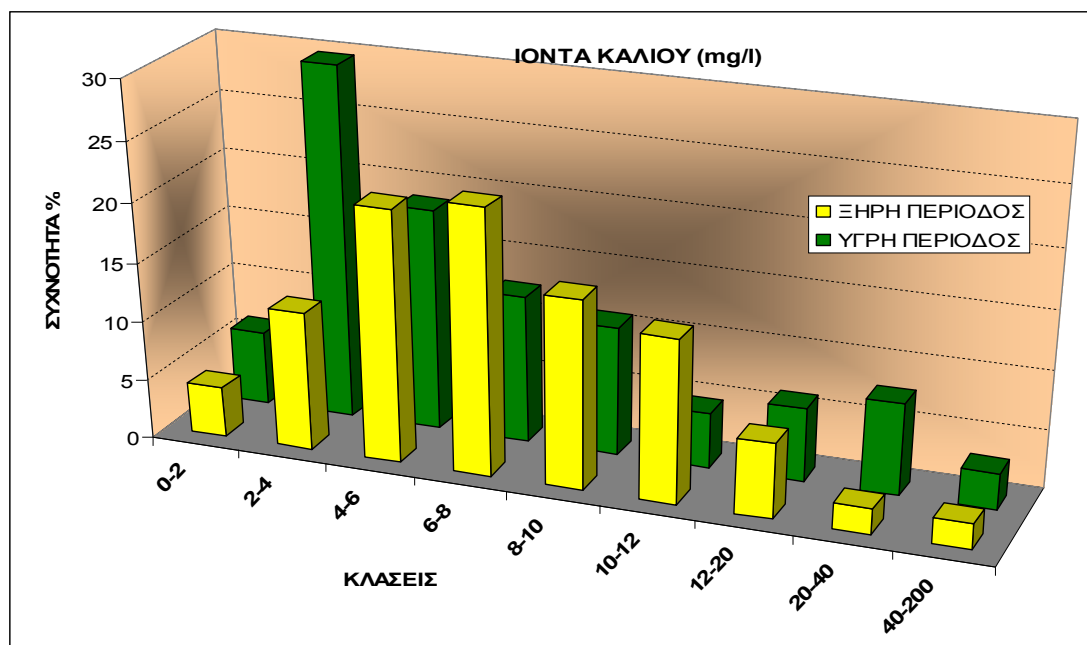
**α) νερά των τεταρτογενών σχηματισμών:** Οι συγκεντρώσεις καλίου στα νερά των τεταρτογενών σχηματισμών παρουσιάζουν τιμές από 3,5 έως 18,0 mg/l, με μέσο όρο 9,6 mg/l την ξηρή περίοδο και από 2,5 έως 32,5 mg/l με μέσο όρο 12,7 mg/l την υγρή περίοδο. Η αύξηση των τιμών την υγρή περίοδο οφείλεται στη διαλυτοποίηση των αργιλικών ορυκτών των σχηματισμών του τεταρτογενούς με το βρόχινο νερό.

**β) νερά των νεογενών σχηματισμών:** Τα υπόγεια νερά των νεογενών σχηματισμών παρουσιάζουν μεγάλα εύρη τιμών: 0,1-126,0 mg/l την ξηρή και 0,8-185,2 mg/l την υγρή περίοδο. Οι αντίστοιχοι μέσοι όροι είναι 11,5 και 13,8 mg/l. Τις υψηλότερες τιμές παρουσιάζει το πηγάδι Νο 65:185,2 mg/l στα Σπάτα. Οι συγκεντρώσεις καλίου αυξάνονται όπως και στους τεταρτογενείς σχηματισμούς την υγρή περίοδο λόγω της συμβολής των κατακρημνισμάτων στη διάλυση των ορυκτών των διαφόρων σχηματισμών του νεογενούς κατά την κατείσδυση τους.

**γ) νερά των καρστικών ανθρακικών σχηματισμών:** Τα νερά των σχηματισμών αυτών παρουσιάζουν μικρότερες συγκεντρώσεις καλίου από τα νερά των τεταρτογενών και νεογενών σχηματισμών, κάτι που επιβεβαιώνει τη γεωγενή προέλευσή του στα υπόγεια νερά της περιοχής. Οι τιμές κυμαίνονται την ξηρή περίοδο από 1,5-22 mg/l με μέσο όρο 7,66 mg/l και την υγρή περίοδο από 1,5-15,5 mg/l με μέσο όρο 5,4 mg/l. Η μείωση των συγκεντρώσεων την υγρή περίοδο οφείλεται στον εμπλουτισμό των υπόγειων υδάτων με φρέσκο νερό που κατείσδυει μέσω των ανθρακικών σχηματισμών.

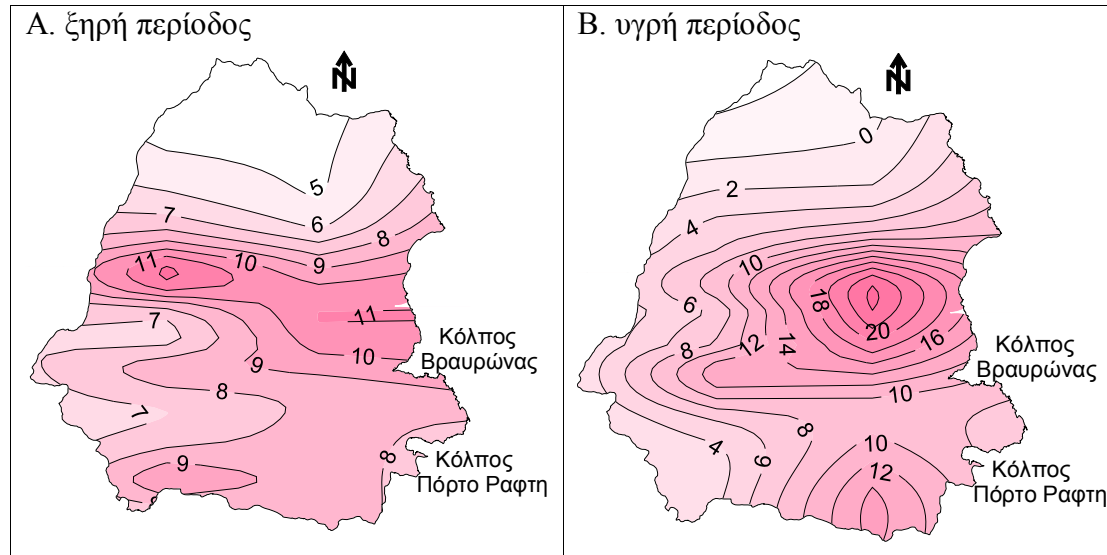
Στο σχήμα 8.18 παρουσιάζεται η κατηγοριοποίηση των συγκεντρώσεων καλίου σε κλάσεις απ' όπου προκύπτει πως η πλειοψηφία των δειγμάτων νερού από τους διάφορους υδροφόρους ορίζοντες της περιοχής έχει χαμηλές συγκεντρώσεις. Μικρό ποσοστό δειγμάτων ξεπερνά τα 12 mg/l (όριο που θέτει η Ε.Ε. για τα πόσιμα νερά).

Προγενέστερες έρευνες στην περιοχή έρευνας από τους Stamatis et al. (2006), Χαμπίδη (2005) και Alexakis and Kelepertsis (1998) δείχνουν παρεμφερείς μέσους όρους συγκεντρώσεων καλίου με μικρότερη όμως μέγιστη τιμή (60, 34 και 59,8 mg/l αντίστοιχα). Ο εντοπισμός υψηλών συγκεντρώσεων καλίου στην παρούσα έρευνα αποδίδεται στη διευρυμένη έκταση δειγματοληψίας.



Σχήμα 8.18: Ιστόγραμμα συχνοτήτων συγκεντρώσεων K<sup>+</sup> στα νερά της περιοχής (σε mg/l)

Η χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων καλίου στην περιοχή (σχήμα 8.19) δείχνει την επικράτηση υψηλών τιμών σε περιοχές με νεογενείς και τεταρτογενείς σχηματισμούς στο γεωλογικό υπόβαθρο. Η μορφή των ισοπεριεκτικών καμπύλων αλλάζει ελάχιστα μεταξύ της υγρής και ξηρής περιόδου. Γενικά διαπιστώνεται αύξηση των συγκεντρώσεων καλίου στα ύδατα των τεταρτογενών και νεογενών σχηματισμών κατά την υγρή περίοδο, ενώ παρατηρείται μείωση των συγκεντρώσεων στα ύδατα των ανθρακικών σχηματισμών.



Σχήμα 8.19: Χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων Κ των υπόγειων υδάτων (mg/l)

#### 8.4.2.4 Νάτριο ( $\text{Na}^+$ )

Το νάτριο εμπεριέχεται στα ορυκτά αλίτη ( $\text{NaCl}$ ), αλβίτη ( $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ ), ολιγόκλαστο και μιραβιλίτη ( $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ). Πέρα απ' το ορυκτό αλάτι, άλλες πηγές νατρίου αποτελούν οι άστριοι κι οι ζεόλιθοι. Οι συνήθεις ιοντικές συγκεντρώσεις σε μη ρυπασμένα νερά είναι 1,1-22 mg/l  $\text{Na}^+$  (Apello & Postma, 1996).

Η συγκέντρωση του Na στα μαγματικά πετρώματα ανέρχεται στα 28.100mg/kg, στους ψαμίτες 3.870 mg/kg, στους αργίλους 4.850mg/kg, στα ανθρακικά πετρώματα 393 mg/kg και στους εβαοριτίες 310.000mg/kg (Matthess, 1973).

Η ύπαρξη πολλών ιόντων νατρίου και χλωρίου, σε συνδυασμό με χαμηλούς λόγους Na:Cl στα φυσικά νερά, φανερώνει διείδυση θαλασσινού νερού στον υδροφόρο και συνδέεται άμεσα με υψηλή αλατότητα κι αγωγιμότητα. Η διασπορά άλατος στους δρόμους για το λιώσιμο των πάγων κατά τη διάρκεια του χειμώνα μπορεί επίσης να αυξήσει τη συγκέντρωση του υδροφόρου σε ιόντα  $\text{Na}^+$  και  $\text{Cl}^-$  ([www.tjclarkinc.com/minerals](http://www.tjclarkinc.com/minerals)).

Τα στοιχεία  $\text{Na}^+$  και  $\text{Cl}^-$  συνήθως συνυπάρχουν στην πιο συνήθη μορφή του μαγειρικού άλατος ( $\text{NaCl}$ ) και σπάνια κάποιο απ' τα δύο αυτά στοιχεία υπερτερεί του άλλου στην ανθρώπινη διατροφή. Το  $\text{NaCl}$  σε υπερβολικές συγκεντρώσεις προκαλεί υπέρταση και κατακράτηση υγρών γι αυτό δεν συνίσταται κατανάλωση για έναν ενήλικα μεγαλύτερη των 2gr  $\text{NaCl}$ / ημέρα .

Σύμφωνα με την οδηγία 80/778/15-7-80 της Ε.Ε. τα ενδεικτικά επίπεδα για τα ιόντα  $\text{Na}^+$  είναι 20mg/l (Καλλέργης, 2000).

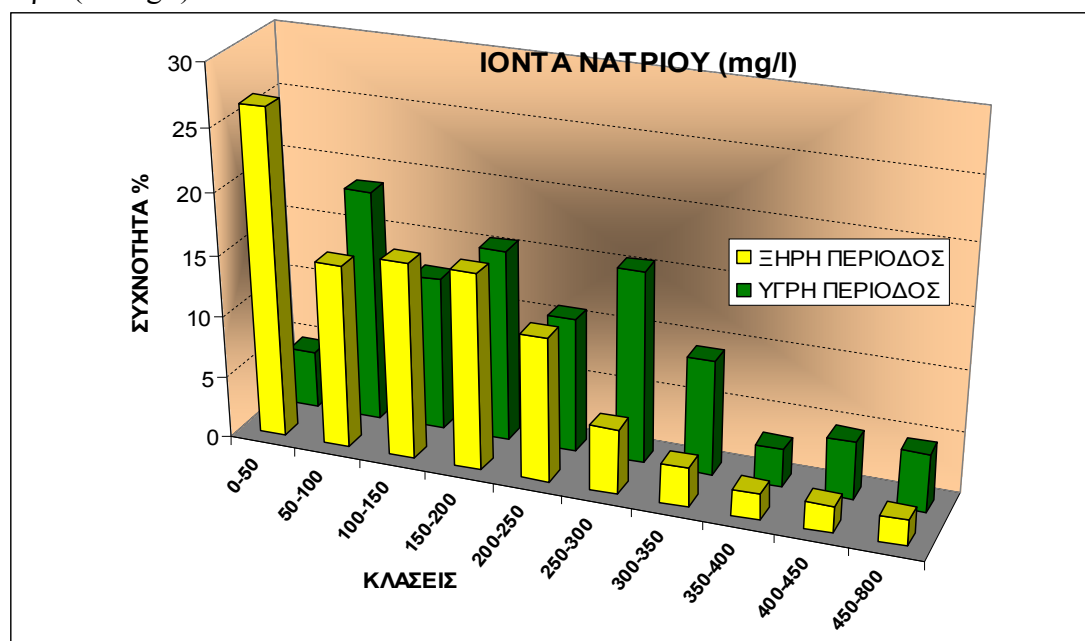
**α) νερά τεταρτογενών σχηματισμών:** Οι συγκεντρώσεις  $\text{Na}^+$  στα υπόγεια νερά των τεταρτογενών σχηματισμών παρουσιάζουν κατά μέσο όρο τις υψηλότερες τιμές

στην περιοχή. Οι συγκεντρώσεις κυμαίνονται την ξηρή περίοδο από 15,94 έως 613 mg/l με μέσο όρο 213,19mg/l που την υγρή περίοδο αυξάνεται στα 299,16 mg/l με ελάχιστη τιμή 28mg/l και μέγιστη 770 mg/l. Οι συγκεντρώσεις του νατρίου αυξάνονται την υγρή περίοδο λόγω της διάλυσης εβαποριτικών πετρωμάτων με το βρόχινο νερό (Stamatis et al., 2006). Οι συγκεντρώσεις νατρίου στο πηγάδι Νο 24 απέχουν πολύ απ' τις υπόλοιπες, κάτι που πιθανότατα οφείλεται σε εμπλουτισμό αυτού του πηγαδιού με καλής ποιότητας νερά.

**β) νερά νεογενών σχηματισμών:** Τα υπόγεια νερά των νεογενών σχηματισμών παρουσιάζουν καλύτερη ποιότητα όσον αφορά τις συγκεντρώσεις  $\text{Na}^+$  από αυτά των τεταρτογενών σχηματισμών, ωστόσο οι τιμές θεωρούνται αυξημένες. Οι συγκεντρώσεις νατρίου κυμαίνονται από 18 έως 417 mg/l με μέσο όρο 149,21 mg/l την ξηρή περίοδο κι αυξάνονται την υγρή περίοδο με τιμές από 50,4 έως 555 mg/l και μέσο όρο 226,38 mg/l. Η μεγάλη διακύμανση επιβεβαιώνει τη μεγάλη διασπορά των τιμών. Η αύξηση των συγκεντρώσεων νατρίου την υγρή περίοδο αποδίδεται στη διάλυση εβαποριτικών πετρωμάτων των νεογενών σχηματισμών (Stamatis et al., 2006).

**γ) νερά ανθρακικών σχηματισμών:** Τα νερά των αβαθών πηγαδιών και γεωτρήσεων των ανθρακικών σχηματισμών παρουσιάζουν την καλύτερη ποιότητα όσον αφορά τα άλατα νατρίου. Οι συγκεντρώσεις την ξηρή περίοδο κυμαίνονται από 17 έως 191 mg/l και την υγρή από 29,45 έως 159,9 mg/l. Η επεξεργασία των τιμών δείχνει τη μείωση των συγκεντρώσεων την υγρή περίοδο, κάτι που δείχνει τη συμβολή του βρόχινου νερού στον εμπλουτισμό του υδροφόρου με φρέσκο νερό που διεισδύει μέσω των ανθρακικών σχηματισμών. Αντίθετα τα νερά των βαθιών γεωτρήσεων και πηγαδιών παρουσιάζουν πολύ υψηλές συγκεντρώσεις νατρίου (274-450,5 mg/l την ξηρή και 406-491,45 mg/l την υγρή περίοδο) κάτι που αποδίδεται στη διείσδυση θαλασσινού νερού στον κατώτερο υδροφόρο.

Απ' το διάγραμμα κατηγοριοποίησης των υπόγειων υδάτων της περιοχής σε κλάσεις, με βάση τις συγκεντρώσεις νατρίου (σχήμα 8.20), παρατηρούμε πολύ υψηλές τιμές που υπερβαίνουν το ενδεικτικό επίπεδο που θέτει η Ε.Ε για τα πόσιμα νερά (20 mg/l).

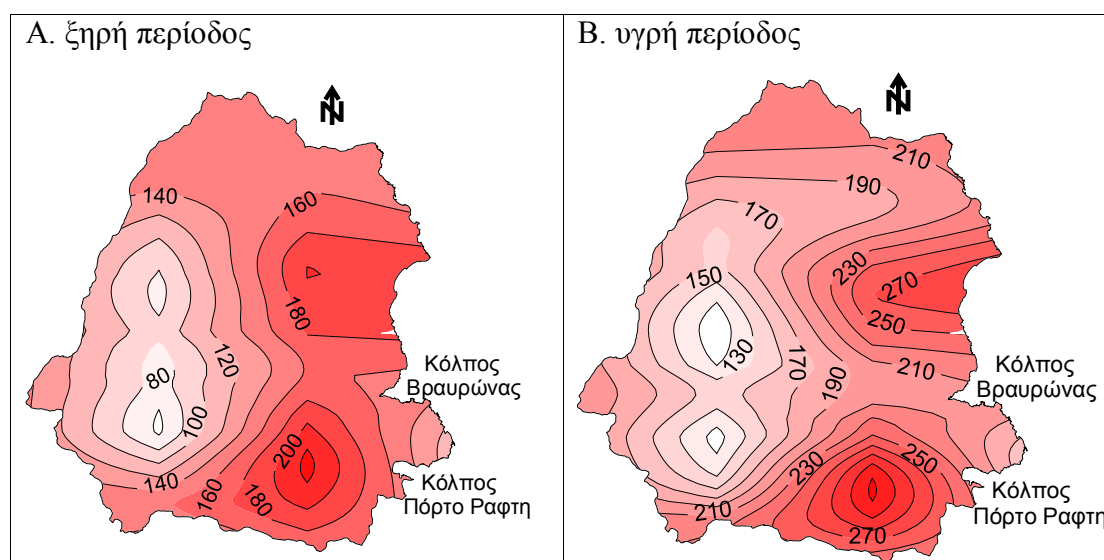


**Σχήμα 8.20** Ιστόγραμμα συχνοτήτων συγκεντρώσεων  $\text{Na}^+$  στα νερά της περιοχής (σε mg/l)

Το εύρος συγκεντρώσεων νατρίου στην παρούσα έρευνα συμπίπτει με αυτό προγενέστερων μελετών (Alexakis and Kelepertsis 1998, Χαμπίδη 2005).

Παρεμφερείς τιμές συγκεντρώσεων βρέθηκαν και στην έρευνα των Stamatis et al. (2006) με σημαντικά όμως υψηλότερη μέγιστη τιμή (1.212 mg/l) λόγω έντονης υφαλμύρισης του υδροφόρου στο εν λόγω σημείο.

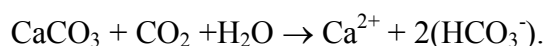
Οι ισοπεριεκτικές καμπύλες νατρίου στα υπόγεια νερά της περιοχής (σχήμα 8.21) παρουσιάζει ομοιότητες με τις ισοπεριεκτικές καμπύλες της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (σχήμα 8.7). Ιδιαίτερα αυξημένες συγκεντρώσεις παρατηρούνται γενικότερα στην παράκτια ζώνη και αποδίδονται είτε σε διάλυση εβαποριτικών πετρωμάτων είτε σε υφαλμύριση του υδροφόρου από υπερβολική άντληση στην παράκτια ζώνη (Stamatis et al., 2006).



Σχήμα 8.21: Χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων Na των υπόγειων υδάτων (mg/l)

#### 8.4.2.5 Οξυανθρακικά ( $\text{HCO}_3^-$ )

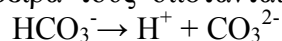
Η όξινη ανθρακική ρίζα είναι το επικρατέστερο ανιόν στα υπόγεια φυσικά νερά. Προέρχεται είτε απ' το ατμοσφαιρικό, είτε απ' το ελευθερούμενο στο έδαφος διοξείδιο του άνθρακα σύμφωνα με την αντίδραση της οργανικής αποσύνθεσης (Βουδούρης, 2009):



Τα οξυανθρακικά ή όξινα διττανθρακικά  $\text{HCO}_3^-$  αποτελούν δείκτη για την ύπαρξη οργανικών ουσιών στα νερά. Το  $\text{H}_2\text{CO}_3$ , προέρχεται απ' την οργανική ύλη και δίσταται σε πρωτόνια και οξυανθρακικά σύμφωνα με την αντίδραση:

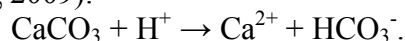


και τα οξυανθρακικά με τη σειρά τους δίστανται σε άτομα υδρογόνου και ανθρακική ρίζα:



Τα πρωτόνια ( $\text{H}^+$ ) που προέρχονται από τα  $\text{H}_2\text{CO}_3$  και  $\text{HCO}_3^-$  παίζουν σημαντικό ρόλο στη διαδικασία αποσάθρωσης των ορυκτών.

Η συγκέντρωση των οξυανθρακικών στα ύδατα μπορεί να οφείλεται και στη διάλυση του ασβεστίτη ( $\text{CaCO}_3$ ) προς  $\text{Ca}^{2+}$  και  $\text{HCO}_3^-$  (Appello & Postma 1994, Καλλέργης 2000, Βουδούρης 2009):



Τα υπόγεια νερά της περιοχής παρουσιάζουν βάσει της λιθολογικής ταξινόμησης τους τις ακόλουθες τιμές συγκέντρωσης σε όξινα ανθρακικά ιόντα:

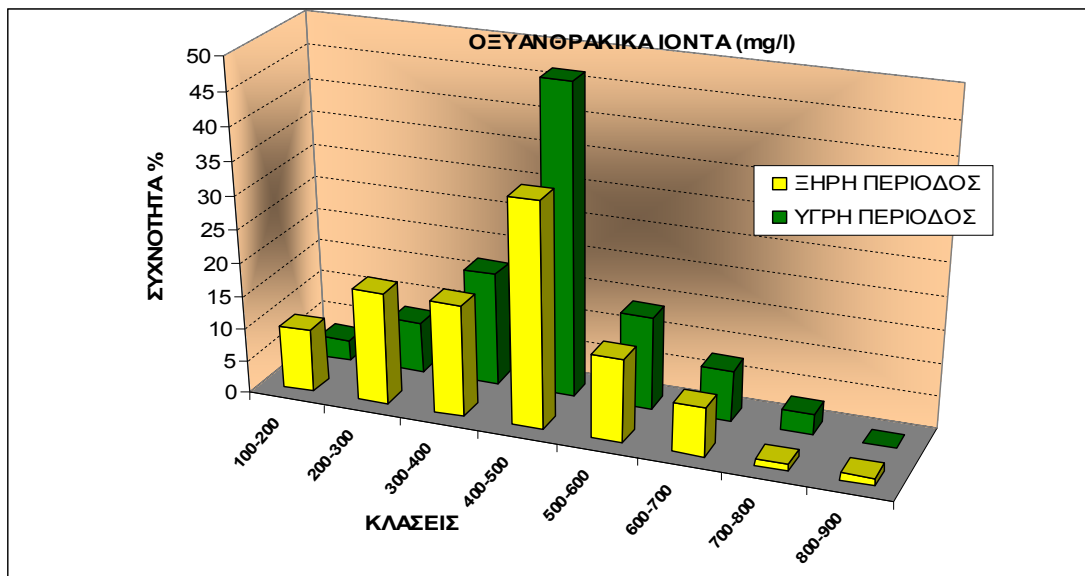
**α) νερά των τεταρτογενών σχηματισμών:** Τα υπόγεια νερά των τεταρτογενών σχηματισμών παρουσιάζουν συγκεντρώσεις  $\text{HCO}_3^-$  που δεν διαφέρουν στατιστικώς μεταξύ ξηρής και υγρής περιόδου. Οι συγκεντρώσεις αποδίδονται σε ημισυνεκτικά ασβεστολιθικά κομμάτια σε κορήματα και κώνους κορημάτων του τεταρτογενούς, καθώς και στις κροκάλες και λατύπες που έχουν προέλθει απ' τα κροκαλοπαγή του νεογενούς που περιέχουν ασβεστιτικό συνδετικό υλικό (Lepsius, 1893). Οι τιμές κυμαίνονται την ξηρή περίοδο από 244,0 έως 817,4 mg/l με μέσο όρο 476,0 mg/l και την υγρή περίοδο από 294,3 mg/l έως 799,1 mg/l με μέσο όρο 480,6 mg/l.

**β) νερά των νεογενών σχηματισμών:** Οι συγκεντρώσεις  $\text{HCO}_3^-$  των νεογενών σχηματισμών κυμαίνονται από 128,1-710,65mg/l με μέσο όρο 415,94mg/l την ξηρή περίοδο κι από 163,18-713,7mg/l με μέσο όρο 474,46 mg/l την υγρή περίοδο. Οι τιμές αποδίδονται στη διάλυση των ασβεστόλιθων της λιμναίας φάσης και των κροκαλοπαγών της ποταμοχερσαίας φάσης των τριτογενών σχηματισμών που συνδέονται με ασβεστολιθικό τσιμέντο (Lepsius, 1893).

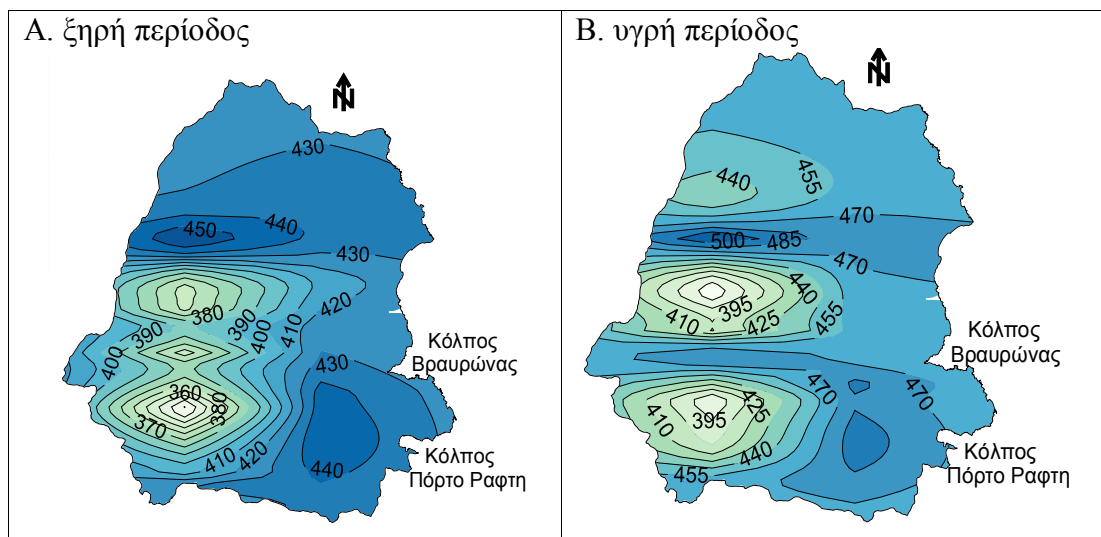
**γ) νερά των καρστικών ανθρακικών σχηματισμών:** Τα υπόγεια νερά των ανθρακικών σχηματισμών παρουσιάζουν παρεμφερείς συγκεντρώσεις  $\text{HCO}_3^-$  με τα νερά του τεταρτογενούς και νεογενούς με μικρότερη όμως διασπορά των τιμών. Ο μέσος όρος την ξηρή περίοδο είναι 374,24 mg/l, η ελάχιστη τιμή 100,65 mg/l κι η μέγιστη 634,4 mg/l. Την υγρή περίοδο οι συγκεντρώσεις κυμαίνονται από 167,75 έως 559,68 mg/l με μέσο όρο 401,78 mg/l. Οι υψηλότερες τιμές – με εξαίρεση τη μέγιστη τιμή της ξηρής περιόδου – παρατηρούνται στα πηγάδια και γεωτρήσεις που έχουν φθάσει στους κατώτερους ανθρακικούς σχηματισμούς κι έχουν υποστεί τη θαλάσσια διείσδυση.

Οι συγκεντρώσεις των  $\text{HCO}_3^-$  στα υπόγεια νερά της περιοχής παρουσιάζουν κανονική κατανομή με κορύφωση στην κλάση από 400 έως 500 mg/l (σχήμα 8.22). Παρεμφερείς τιμές έδειξαν και προγενέστερες μελέτες στην περιοχή (Alexakis & Kelepertsis 1998, Παπαδέας 2002, Χαμπίδη 2005, Stamatis et al. 2006). Αρκετά δείγματα στην περιοχή έρευνας υπερβαίνουν το όριο των 500 mg/l, όριο που δεν είθισται να ξεπερνούν τα φυσικά νερά, κάτι που μπορεί να οφείλεται στη διάλυση ασβεστολιθικών πετρωμάτων που βρίσκονται σε αφθονία στο παλαιογενές των τριτογενών αποθέσεων. Η ύπαρξη οργανικού φορτίου (ανθρωπογενής ρύπανση) μπορεί να συντελεί σε μικρό βαθμό αθροιστικά στην αύξηση των συγκεντρώσεων  $\text{HCO}_3^-$ .

Η χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων  $\text{HCO}_3^-$  στην περιοχή έρευνας (σχήμα 8.23) παρουσιάζει ομοιότητες με τις αντίστοιχες ξηρής και υγρής περιόδου του Ca, υποδηλώνοντας την προέλευση αυτών των στοιχείων από ανθρακικά ( $\text{CaCO}_3$ ) πετρώματα. Κατά την υγρή περίοδο παρατηρείται αύξηση των συγκεντρώσεων, η οποία εκδηλώνεται κυρίως στα ανατολικά τμήματα της περιοχής, καθώς επίσης στους άξονες των κύριων ρευμάτων, του Ερασίνου και Μεγάλου Ρέματος Ραφήνας. Στην πρώτη περίπτωση οι υψηλές συγκεντρώσεις συνδυάζονται με την παρουσία των υφάλμυρων νερών και την έντονη διάβρωση των ανθρακικών πετρωμάτων, ενώ στην δεύτερη περίπτωση φαίνεται να παίζει σημαντικό ρόλο και η διάσπαση της οργανικής ύλης στις καλλιεργούμενες εκτάσεις, η παρουσία των σηπτικών βόθρων στις κατοικημένες περιοχές ή και διάφορες άλλες ανθρωπογενείς επιδράσεις.



Σχήμα 8.22: Ιστόγραμμα συχνοτήτων συγκεντρώσεων HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> στα νερά της περιοχής (σε mg/l)



Σχήμα 8.23: Χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> των υπόγειων υδάτων (mg/l)

#### 8.4.2.6 Χλώρια (Cl)

Το Χλώριο εμπεριέχεται στα ορυκτά καρναλίτη (KCl·MgCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O), χλωρίτη κι αλίτη (NaCl). Η ύπαρξη χλωριόντων παρατηρείται επίσης σε απόβλητα βιομηχανικής, αστικής και γεωργικής προέλευσης. Οι συνήθεις ιοντικές συγκεντρώσεις σε μη ρυπασμένα νερά είναι 0,85–34 mg/l Cl<sup>-</sup> (Apello & Postma, 1996).

Οι συγκεντρώσεις του Cl είναι στα μαγματικά πετρώματα 305mg/kg, στους ψαμμίτες 15 mg/kg, στους αργίλους 170mg/kg, στα ανθρακικά πετρώματα 305 mg/kg και στους εβαπορίτες 525.000mg/kg (Matthess, 1973). Κύρια προέλευσή του είναι τα ιζηματογενή πετρώματα που περιέχουν αργίλικα ορυκτά θαλάσσιας γένεσης, οι εβαπορίτες, οι θερμές πηγές κι η διείσδυση της θάλασσας στους παράκτιους υδροφόρους. Η ύπαρξή του σε βιομηχανικές περιοχές αποδίδεται στην καύση πλαστικών και τα θερμοηλεκτρικά εργοστάσια (Βουδούρης, 2009).

Όπως προαναφέρθηκε, οι χαμηλοί λόγοι Na:Cl με ταυτόχρονη παρουσία υψηλών συγκεντρώσεων ιόντων νατρίου και χλωρίου στα φυσικά νερά φανερώνουν διείσδυση



θαλασσινού νερού στον υδροφόρο και συνδέονται άμεσα με υψηλή αλατότητα και αγωγιμότητα.

Το Cl<sup>-</sup> στα πόσιμα χλωριωμένα νερά, μπορεί να αντιδράσει με οργανικές ουσίες που βρίσκονται σε αυτά και να παραχθεί το χλωροφόρμιο CHCl<sub>3</sub> (Μιμίδης, 2004). Το χλωροφόρμιο, το οποίο θεωρείται καρκινογόνος ουσία, βρίσκεται στο χλωριωμένο νερό της βρύσης σε μια μέση τιμή των 82μg/l, ποσότητα που δεν θεωρείται επικίνδυνη για την ανθρώπινη υγεία.

Ελάχιστες ποσότητες χλωριόντων είναι απαραίτητες για τις φυσιολογικές λειτουργίες των φυτικών οργανισμών, αντίθετα οι μεγάλες ποσότητες επιφέρουν σημαντικές βλάβες στις καλλιέργειες και μειώνουν την παραγωγή.

Οι μεγαλύτερες ποσότητες χλωρίου βρίσκονται στα φύλλα. Οι αυξημένες συγκεντρώσεις χλωριόντων στα νερά των αρδεύσεων προκαλούν ελάττωση του αμύλου στα παραγόμενα προϊόντα, μειώνουν την παραγωγή και υποβαθμίζουν την ποιότητα τους. π.χ. τα καπνά δεν καπνίζονται ευχάριστα, έχουν βαριά οσμή και αφήνουν μεγαλύτερη τέφρα μετά την καύση τους (Μαλεφάκης, 1999).

Σύμφωνα με την οδηγία 80/778/15-7-80 της Ε.Ε. το ενδεικτικό επίπεδο για τα ιόντα Cl<sup>-</sup> είναι 25mg/l. Τιμές Cl<sup>-</sup> μεγαλύτερες των 600mg/l θεωρούνται τοξικές για την ανθρώπινη υγεία. Συγκέντρωση ιόντων χλωρίου πάνω από 100mg/l δίνει αλμυρή γεύση στο νερό, το καθιστά διαβρωτικό και ανεπιθύμητο στη βιομηχανική χρήση (Καλλέργης, 2000).

**α) νερά τεταρτογενών σχηματισμών:** Οι συγκεντρώσεις Cl<sup>-</sup> στα υπόγεια νερά των τεταρτογενών σχηματισμών παρουσιάζουν κατά μέσο όρο τις υψηλότερες τιμές στην περιοχή και κυμαίνονται την ξηρή περίοδο μεταξύ 14,18-875,89 mg/l και την υγρή μεταξύ 22,16-794 mg/l. Οι αντίστοιχοι μέσοι όροι είναι 380,7 και 356,46 mg/l. Οι συγκεντρώσεις χλωρίου δείχνουν να μειώνονται την υγρή περίοδο διότι το δείγμα με τη μέγιστη τιμή (875,89mg/l) δεν επαναλήφθηκε την υγρή περίοδο. Οι συγκεντρώσεις χλωρίου όπως και του νατρίου αυξάνονται την υγρή περίοδο λόγω της διάλυσης εβαποριτικών πετρωμάτων με το βρόχινο νερό (Stamatis et al., 2006). Οι χαμηλές συγκεντρώσεις χλωρίου στο πηγάδι Νο 24 αποδίδονται σε εμπλουτισμό αυτού του πηγαδιού με καλής ποιότητας νερά.

**β) νερά νεογενών σχηματισμών:** Τα υπόγεια νερά των νεογενών σχηματισμών παρουσιάζουν αυξημένες συγκεντρώσεις Cl<sup>-</sup>, που είναι χαμηλότερες ωστόσο από αυτές των τεταρτογενών σχηματισμών. Οι συγκεντρώσεις κυμαίνονται την ξηρή περίοδο μεταξύ 35,46-730,5 mg/l με μέσο όρο 296,81 mg/l και την υγρή επίσης αυξάνονται και παρουσιάζουν τιμές μεταξύ 74,47-852,84mg/l και μέσο όρο 334,06 mg/l. Η αύξηση των συγκεντρώσεων χλωρίου την υγρή περίοδο συμβαδίζει με την αύξηση των συγκεντρώσεων νατρίου και αποδίδεται στη διάλυση εβαποριτικών πετρωμάτων των νεογενών σχηματισμών (Stamatis et al., 2006).

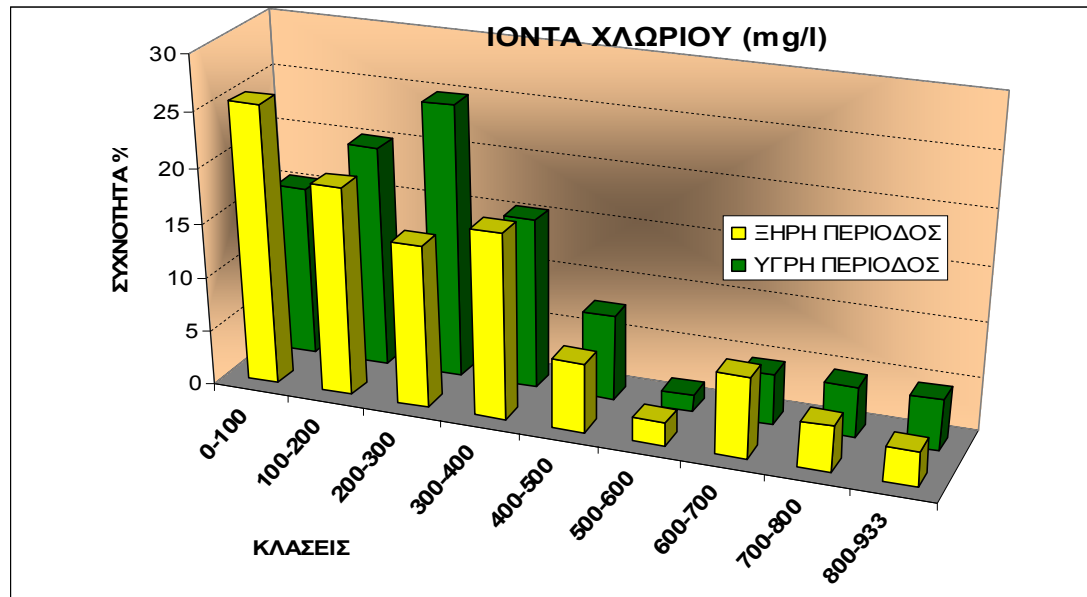
**γ) νερά ανθρακικών σχηματισμών:** Τα νερά των αβαθών πηγαδιών και γεωτρήσεων των ανθρακικών σχηματισμών παρουσιάζουν την καλύτερη ποιότητα όσον αφορά τα άλατα χλωρίου με συγκεντρώσεις που κυμαίνονται την ξηρή περίοδο μεταξύ 24,82-326,24 και την υγρή μεταξύ 23,05-250 mg/l. Η μείωση των συγκεντρώσεων την υγρή περίοδο αποδίδεται στον εμπλουτισμό του υδροφόρου με φρέσκο νερό που διεισδύει μέσω των ανθρακικών σχηματισμών. Αντίθετα τα νερά των βαθιών γεωτρήσεων και πηγαδιών παρουσιάζουν πολύ υψηλές συγκεντρώσεις χλωρίου (780,14-858,16 mg/l την ξηρή και 858,16-932,62 mg/l την υγρή περίοδο) κάτι που αποδίδεται στη διείσδυση θαλασσινού νερού στον κατώτερο υδροφόρο.

Απ' το ιστόγραμμα του σχήματος 8.24 (κατηγοριοποίηση των συγκεντρώσεων χλωρίου των υπόγειων υδάτων σε κλάσεις), παρατηρούμε πολύ υψηλές τιμές στα εξετασθέντα δείγματα που υπερβαίνουν το ενδεικτικό επίπεδο των 25mg/l που θέτει η

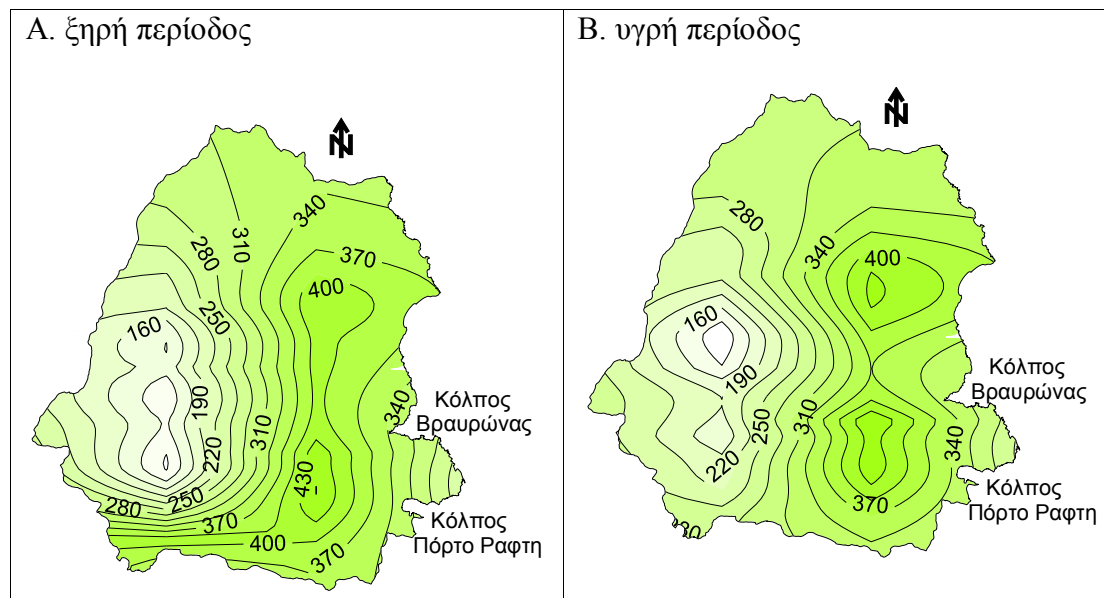


Ε.Ε για τα πόσιμα ύδατα. Την ξηρή περίοδο επικρατεί η κλάση από 0-100 mg/l ενώ την υγρή η κλάση από 200-300mg/l, λόγω διάλυσης εβαποριτικών πετρωμάτων (Stamatis et al., 2006).

Οι συγκεντρώσεις χλωρίου σε προγενέστερες έρευνες (Alexakis and Kelepertsis 1998, Χαμπίδη 2005, Stamatis et al. 2006) στην περιοχή έρευνας παρουσιάζουν παρεμφερείς τιμές με μεγαλύτερες όμως μέγιστες τιμές, προφανώς λόγω εντοπισμού έντονα υφαλμυρισμένου υδροφόρου από τη διείσδυση της θάλασσας.



Σχήμα 8.24 Ιστογράμμα συχνοτήτων συγκεντρώσεων Cl<sup>-</sup> στα νερά της περιοχής (σε mg/l)



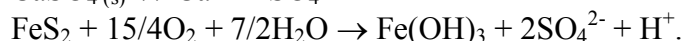
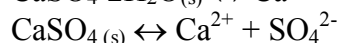
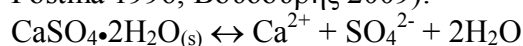
Σχήμα 8.25: Χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων Cl<sup>-</sup> των υπόγειων υδάτων (mg/l)

Η χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων χλωρίου στα υπόγεια νερά της περιοχής (σχήμα 8.25) παρουσιάζει μεγάλη ομοιότητα με την αντίστοιχη των συγκεντρώσεων νατρίου (σχήμα 8.21), φανερώνοντας τη συνύπαρξη των δύο αυτών στοιχείων στα φυσικά νερά. Ομοιότητα παρατηρείται επίσης και με τις ισοπεριεκτικές καμπύλες της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (σχήμα 8.7). Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις παρατηρούνται γενικότερα στην παράκτια ζώνη και αποδίδονται είτε σε διάλυση

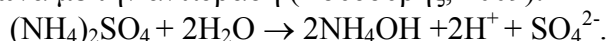
εβαποριτικών πετρωμάτων είτε σε υφαλμύριση του υδροφόρου από υπερβολική άντληση στην παράκτια ζώνη (Stamatis et al., 2006).

#### 8.4.2.7 Θεϊκά (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)

Τα θεϊκά ιόντα στα υπόγεια νερά προέρχονται κυρίως από τη διάλυση των ορυκτών όπως ο σιδηροπυρίτης (FeS<sub>2</sub>), ο γύψος (CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O), ο ανυδρίτης (CaSO<sub>4</sub>) κι ο πολυαλίτης [K<sub>2</sub>Ca<sub>2</sub>Mg(SO<sub>4</sub>)<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O]. Από τη διάλυση των ορυκτών αυτών προκύπτουν τα θεϊκά ιόντα σύμφωνα με τις παρακάτω αντιδράσεις (Apello & Postma 1996, Βουδούρης 2009):



Ανθρωπογενείς παράγοντες όπως η προσθήκη λιπασμάτων, οι εκπομπές καυσαερίων από την οικιακή θέρμανση, τα οχήματα κι εργοστάσια ή φυσικές δραστηριότητες στην επιφάνεια της γης όπως οι πυρκαγιές δασών και τα ηφαίστεια συμβάλλουν στην αύξηση των θεϊκών στα υπόγεια νερά. Η πιο συνηθισμένη χρήση θεϊκών λιπασμάτων είναι του τύπου (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> και συντελούν στην ελευθέρωση θεϊκών ιόντων σύμφωνα με την αντίδραση (Βουδούρης, 2009):



Γενικά στα φυσικά νερά τα θεϊκά ιόντα δεν ξεπερνούν τα 300mg/l. Η υπέρβαση αυτής της συγκέντρωσης οφείλεται είτε στην ύπαρξη γύψου και ανυδρίτη, είτε σε φαινόμενα ρύπανσης (Καλλέργης, 2000). Το νερό της βροχής, καθώς κατέρχεται μέσω της ατμόσφαιρας, πέραν του διοξειδίου του άνθρακα CO<sub>2</sub> και του οξυγόνου O<sub>2</sub> εμπλουτίζεται και με άλλα στοιχεία της ατμόσφαιρας όπως τα οξείδια του θείου που προέρχονται απ' τις προαναφερθείσες δραστηριότητες και τελικά απολήγει σε κάποιον υδάτινο αποδέκτη (επιφανειακό ή υπόγειο) αυξάνοντας τη συγκέντρωση των θεϊκών ιόντων.

Η συγκέντρωση του S ανέρχεται στα μαγματικά πετρώματα στα 410mg/kg, στους ψαμίτες 945mg/kg, στους αργίλους 1.850mg/kg, στα ανθρακικά πετρώματα 4.550 mg/kg και στους εβαπορίτες 26.800mg/kg (Matthess, 1973). Τα θεϊκά ιόντα απαντώνται σε φυσικά υπόγεια νερά σε συγκεντρώσεις μεταξύ 0,48 και 48 mg/l (Apello & Postma, 1996).

Το θείο είναι ένα αμέταλλο στοιχείο, αρκετά σημαντικό για τον ανθρώπινο οργανισμό εφόσον επιτελεί έναν μεγάλο αριθμό λειτουργιών σχετικά με τις μετατροπές των ενζύμων και τις συνθέσεις των πρωτεϊνών. Το θείο περιέχεται επίσης στην κερατίνη, που είναι απαραίτητη για τη διατήρηση των τριχών και του δέρματος καθώς δίνει δύναμη, σχήμα κι ανθεκτικότητα στ' αντίστοιχα κύτταρα ([www.tjclarkinc.com/minerals](http://www.tjclarkinc.com/minerals)).

Στα πόσιμα νερά, το ενδεικτικό επίπεδο συγκέντρωσης θεϊκών ιόντων (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) σύμφωνα με την οδηγία της Ε.Ε. είναι 25 mg/l με ανώτατο όριο τα 250 mg/l. Η Environmental Protection Agency δίνει ανώτατο επιτρεπτό όριο πόσιμου νερού τα 400 mg/l. Συγκέντρωση θεϊκών ιόντων μεγαλύτερη των 250 mg/l κάνει τη χρήση του νερού προβληματική για πόση και βιομηχανική χρήση, ιδιαίτερα για τις βιομηχανίες γάλακτος, πάγου και ζάχαρης. Συγκεντρώσεις μεγαλύτερες των 500 mg/l προσδίδουν πικρή γεύση στο νερό ενώ μεγαλύτερες των 1000 mg/l του δίνουν καθαρικές ιδιότητες (Καλλέργης, 2000).

Τα υπόγεια νερά της περιοχής παρουσιάζουν βάσει της λιθολογικής ταξινόμησης τους τις ακόλουθες τιμές συγκέντρωσης σε θεϊκά ιόντα:

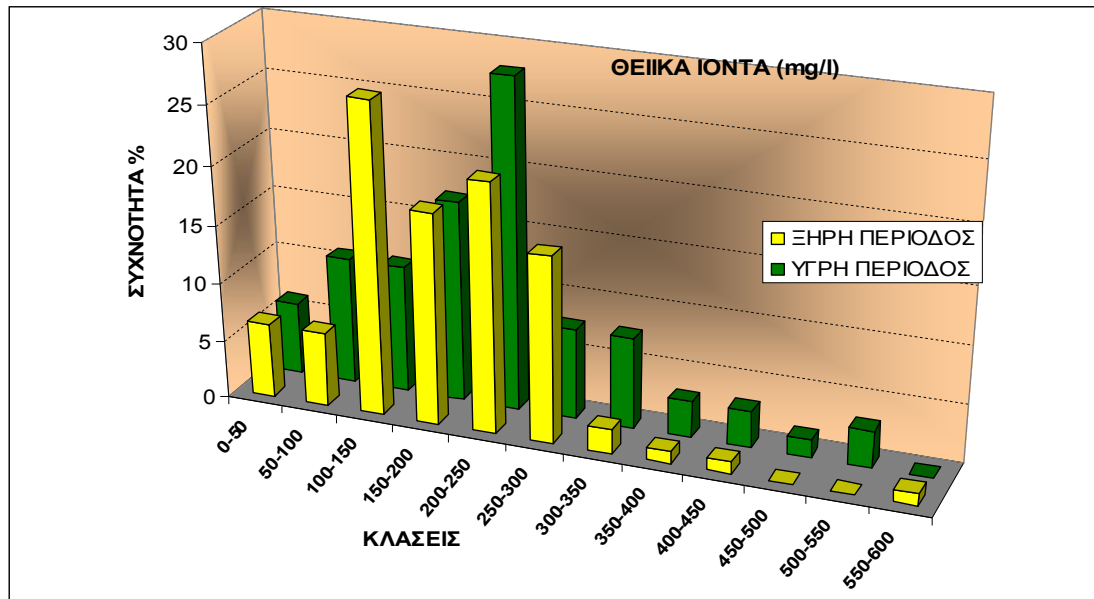
**α) νερά των τεταρτογενών σχηματισμών:** Οι συγκεντρώσεις θεικών ιόντων στα υπόγεια νερά των τεταρτογενών σχηματισμών κυμαίνονται μεταξύ 21-285,85 mg/l την ξηρή περίοδο με μέσο όρο 213,22 mg/l και μεταξύ 40,65-460,4 mg/l την υγρή με μέσο όρο 274,84mg/l. Η προέλευσή τους είναι κυρίως γεωγενής κι η αύξηση των τιμών την υγρή περίοδο οφείλεται στην εύκολη διάλυση του γύψου και του ανυδρίτη (Stamatis et al., 2006). Ένα ποσοστό προφανώς προέρχεται από ανθρωπογενείς παράγοντες όπως η ύπαρξη βόθρων κι η χρήση αγροχημικών (Sikora et al., 1976). Σύμφωνα με βιβλιογραφικές πηγές, για την καταπολέμηση μυκητολογικών ασθενειών του αμπελιού (φυτό που καλλιεργείται σε μεγάλο ποσοστό στην περιοχή έρευνας – σχήμα 2.5) χρησιμοποιούνται σκευάσματα του θείου όπως το βρέξιμο θείο (Παναγόπουλος, 1998). Το βρόχινο νερό που περιέχει οξειδία του θείου, λόγω εμπλουτισμού του με καυσαέρια της ατμόσφαιρας μπορεί να δρα αθροιστικά στη συγκέντρωση των θεικών ιόντων στα υπόγεια νερά, εφόσον αρκετές ανθρωπογενείς δραστηριότητες στην περιοχή επιβαρύνουν την ατμόσφαιρα με ρυπαντικά στοιχεία πλούσια σε θειικά.

**β) νερά των νεογενών σχηματισμών:** Οι μέσες τιμές των συγκεντρώσεων  $SO_4^{=}$  στα νερά των νεογενών σχηματισμών δεν διαφέρουν σημαντικά από αυτές των τεταρτογενών αποθέσεων. Οι μέσες τιμές ξηρής και υγρής περιόδου είναι 204,0 mg/l και 227,8 mg/l αντίστοιχα με ελάχιστες τιμές 50,9 και 62,0 mg/l και μέγιστες 577,9 και 541,3 mg/l αντίστοιχα. Οι μέγιστες τιμές παρατηρήθηκαν στο πηγάδι Νο 59 που βρίσκεται κοντά της πόλης Κορωπίου, στο οποίο παρατηρήθηκαν υψηλές συγκεντρώσεις  $SO_4^{=}$  κι άλλων ρυπαντικών στοιχείων όπως  $NO_3^-$  και  $NH_4^+$ . Η χωρική θέση του πηγαδιού, ανάμεσα σε καλλιεργούμενα τεμάχια παραπέμπει είτε σε υπερβολική χρήση αγροχημικών, είτε στην παρουσία των σηπτικών βόθρων, οπότε πρόκειται για σημειακές πηγές ρύπανσης. Στην περιοχή του Κορωπίου βρέθηκε παρεμφερής μέγιστη τιμή (532,5mg/l) και σε προγενέστερη έρευνα (Χαμπίδη, 2005). Η παρουσία σχετικών υψηλών συγκεντρώσεων  $SO_4^{=}$  στη πλειοψηφία των δειγμάτων αποδίδεται κατά κύριο λόγο στη διάλυση εβαποριτικών πετρωμάτων (Stamatis et al., 2006). Η παρουσία τους ενισχύεται με την προσθήκη του βρόχινου νερού κατά την υγρή περίοδο, όπως αυτό φαίνεται στην διαμόρφωση των ισοπεριεκτικών καμπύλων της αντίστοιχης περιόδου (σχήμα8.27).

**γ) νερά των καρστικών ανθρακικών σχηματισμών:** Τα νερά που προέρχονται από τους ανώτερους ανθρακικούς ορίζοντες παρουσιάζουν γενικά χαμηλότερες συγκεντρώσεις  $SO_4^{=}$  σε σύγκριση με τις συγκεντρώσεις που εμφανίζονται στα νερά των βαθύτερων ανθρακικών οριζόντων, αλλά και των άλλων σχηματισμών. Οι τιμές κυμαίνονται την ξηρή περίοδο από 13,3 έως 233,8 mg/l και την υγρή από 16,4 έως 231,3 mg/l. Οι δύο μέγιστες τιμές (233,8 και 231,3 mg/l) που ανιχνεύθηκαν στην πηγή Νο 3 αποδίδονται σε λύματα κτηνοτροφικής μονάδας που βρίσκεται στην περιοχή τροφοδοσίας της εν λόγω πηγής. Τα νερά των βαθύτερων ανθρακικών οριζόντων παρουσιάζουν μεγαλύτερες τιμές  $SO_4^{=}$  (240-295 mg/l την ξηρή περίοδο και 262,1-347,3 mg/l την υγρή) που αποδίδονται στην μίξη του υδροφόρου με θαλασσινό νερό. Οι συγκεντρώσεις θεικών στο θαλασσινό νερό της περιοχής βρέθηκαν κατά μέσο όρο στα 3.200mg/l (Ταγματάρχη, 2000).

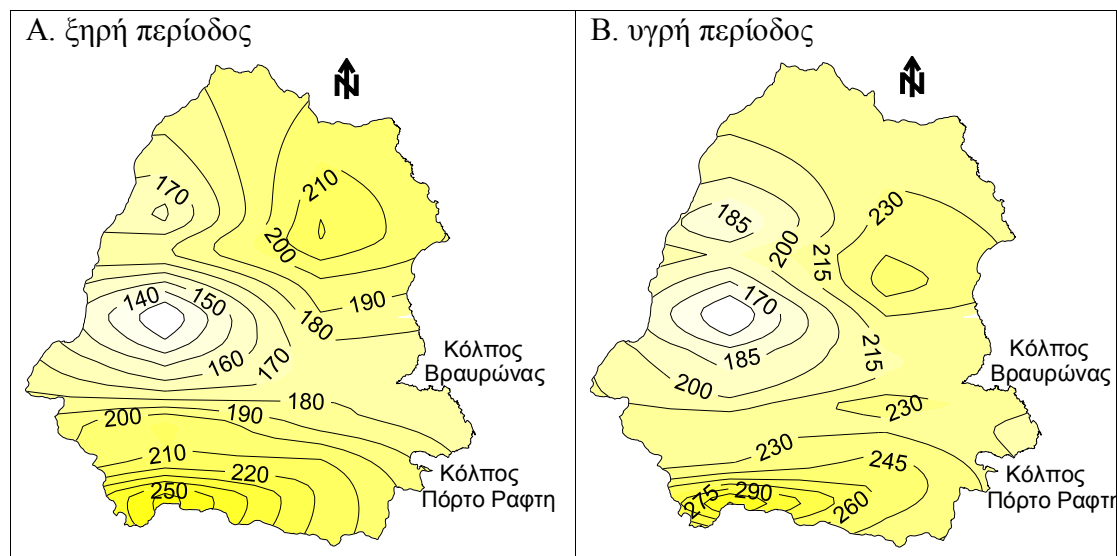
Το διάγραμμα κατηγοριοποίησης σε κλάσεις των συγκεντρώσεων θεικών ιόντων στα υπόγεια νερά της περιοχής φαίνεται στο σχήμα 8.26. Η κλάση με τη μεγαλύτερη συχνότητα είναι από 100-150 mg/l την ξηρή περίοδο ενώ την υγρή από 200-250 mg/l, δείχνοντας τη συμβολή των κατακρημνισμάτων στη διάλυση των εβαποριτικών πετρωμάτων και την έκπλυση των λυμάτων βόθρων και κτηνοτροφικών καθώς και των αγροχημικών. Αρκετά δείγματα ξεπερνούν τα 250 mg/l που τίθεται σαν ανώτατο όριο για τα πόσιμα νερά απ' την Ε.Ε. Παρεμφερείς τιμές έδειξαν και

προγενέστερες μελέτες στην περιοχή (Alexakis and Kelepertsis 1998, Χαμπίδη 2005, Stamatias et al. 2006).



Σχήμα 8.26: Ιστόγραμμα συχνοτήτων συγκεντρώσεων  $SO_4^{2-}$  στα νερά της περιοχής (σε mg/l).

Στο σχήμα 8.27 παρουσιάζεται η χωρική κατανομή των θεικών ιόντων. Ιδιαίτερα υψηλές συγκεντρώσεις εμφανίζονται στις καλλιεργούμενες περιοχές του Κορωπίου αποδιδόμενες σε εφαρμογή θειούχων σκευασμάτων αγροχημικών και κοντά σε πόλεις που στερούνται αποχετευτικού δικτύου όπως το Μαρκόπουλο, η Παλλήνη και το Πικέρμι. Υψηλές συγκεντρώσεις παρατηρούνται στη λιγνιτοφόρο περιοχή της Ραφήνας αποδιδόμενες στη σύσταση του λιγνίτη (Μαρίνος, 1955).



Σχήμα 8.27: Χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων  $SO_4^{2-}$  των υπόγειων υδάτων (mg/l)

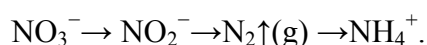
#### 8.4.2.8 Ενώσεις αζώτου ( $NO_3^-$ , $NO_2^-$ , $NH_4^+$ )

Η συγκέντρωση του N ανέρχεται στα μαγματικά πετρώματα στα 46mg/kg και στους αργίλους στα 600mg/kg (Matthess, 1973). Λόγω της μεγάλης διαλυτότητάς του σπανίζει στα πετρώματα, όμως λόγω της ευρείας χρήσης αζωτούχων λιπασμάτων οι

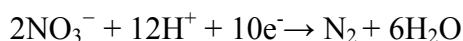
ενώσεις του αζώτου βρίσκονται σε αφθονία στα υπόγεια νερά. Οι συνήθεις ιοντικές συγκεντρώσεις των  $\text{NO}_3^-$  σε φυσικά υπόγεια νερά είναι πολύ χαμηλές, μεταξύ 0,03 και 6,2 mg/l (Apello & Postma, 1996).

Τα αζωτοβακτήρια, κάτω από αερόβιες συνθήκες μετατρέπουν το οργανικό άζωτο σε ανόργανο για να μπορέσει να αφομοιωθεί απ' τα φυτά. Η περίσσεια του ανόργανου αζώτου εμπλουτίζει τους υπόγειους υδροφόρους με το νερό αποστράγγισης (Καλλέργης 2000, Κερκίδης 2003). Η φυσική αποσύνθεση οργανικών και αζωτούχων ενώσεων (ζωικά περιττώματα, λιπάσματα) είναι η κυριότερη πηγή νιτρικών στα νερά. Θεωρούνται αρκετά επικίνδυνοι ρύποι λόγω της μεγάλης ευκινησίας που τους επιτρέπει να μετακινούνται εύκολα απ' την ακόρεστη ζώνη στον υπόγειο υδροφόρο (Βουδούρης, 2009).

Η σειρά αναγωγής των ενώσεων του αζώτου υποβοηθάται από τα αζωτοβακτήρια και είναι η εξής:



Η αναγωγή των νιτρικών σε άζωτο σύμφωνα με την αντίδραση:



είναι η κύρια διαδικασία απομάκρυνσης των νιτρικών (Βουδούρης, 2009).

Με νιτροποίηση των αζωτούχων λιπασμάτων τα  $\text{NH}_4^+$  μπορούν να οδηγήσουν στην παραγωγή  $\text{NO}_3^-$  προκαλώντας ταυτόχρονα οξύτητα (Γιάσογλου, 1995). Η παραγωγή τοξικού αμμωνίου λόγω προσθήκης αζωτούχων λιπασμάτων οφείλεται στην αντίδραση:  $\text{NH}_3 + \text{H}^+ \rightarrow \text{NH}_4^+$  (Γιάσογλου, 1995)

Τα ιόντα αμμωνίου ( $\text{NH}_4^+$ ), που είναι προϊόντα αναγωγής των νιτρικών ιόντων ( $\text{NO}_3^-$ ), τα οποία μεταφέρονται στο έδαφος από τα αζωτοβακτηρίδια προκαλούν κάτω από ορισμένες συνθήκες σημαντικές τοξικές διαταραχές στους ζωικούς και ανθρώπινους οργανισμούς (Μαλεφάκης, 1999).

Τα ιόντα αμμωνίου ( $\text{NH}_4^+$ ) του εδαφικού νερού οξειδώνονται αρχικά σε νιτρώδη ( $\text{NO}_2^-$ ) και ταχύτατα σε νιτρικά ( $\text{NO}_3^-$ ). Κατά τη νιτροποίηση των αμμωνιακών λιπασμάτων και της ουρίας προκαλείται οξύτητα σύμφωνα με την αντίδραση:



Στα ασβεστούχα εδάφη λόγω περίσσειας υδροξυλίων, το αμμώνιο μετατρέπεται σε αέρια αμμωνία κι εξατμίζεται:  $\text{NH}_4^+ + \text{OH}^- \rightarrow \text{NH}_3 \uparrow + \text{H}_2\text{O}$  (Γιάσογλου, 1995).

Σε πρόσφατα ρυπασμένα νερά το άζωτο βρίσκεται υπό την μορφή οργανικού αζώτου και αμμωνίας και καθώς περνάει ο χρόνος το οργανικό άζωτο με τη βοήθεια βακτηρίων μετατρέπεται σταδιακά σε αμμωνία ( $\text{NH}_3$ ). Κατόπιν, εάν υπάρχουν αερόβιες συνθήκες, η αμμωνία οξειδώνεται σε νιτρώδη και νιτρικά. Συνεπώς, νερά που περιέχουν μεγάλη ποσότητα οργανικού αζώτου και αμμωνίας θεωρούνται ότι έχουν ρυπανθεί πρόσφατα και επομένως ενέχουν μεγάλο κίνδυνο για την ανθρώπινη υγεία. Νερά στα οποία το άζωτο βρίσκεται υπό μορφή νιτρικών σημαίνει ότι έχουν ρυπανθεί πριν από αρκετό καιρό και επομένως δεν αποτελούν άμεση απειλή για τη δημόσια υγεία (Παππά, 2001).

Το άζωτο είναι βασικό στοιχείο όλων των φυτικών και ζωικών πρωτεϊνών. Στις ανεπτυγμένες χώρες η κατανάλωση N ανά άτομο είναι περίπου 30kg/άτομο/έτος λόγω της κατανάλωσης υψηλής ποσότητας ζωικής πρωτεΐνης (Σιμώνης, 1998). Τα νιτρικά θεωρούνται φυσικό κομμάτι της ανθρώπινης διατροφής, αρκεί να μην υπερβαίνουν τα φυσιολογικά όρια. Αν υπερβούν τα όρια θεωρούνται άκρως επικίνδυνα κι υπεύθυνα για πρόκληση σοβαρών ασθενειών όπως ο καρκίνος.

Η κατανάλωση τροφών ή νερού με υψηλές συγκεντρώσεις νιτρικών από τον άνθρωπο ή τα ζώα καταλήγει στο πεπτικό σύστημα, όπου τα νιτρικά μετατρέπονται σε νιτρώδη υπό την επίδραση της μικροχλωρίδας. Τελευταίες επιδημιολογικές έρευνες δεν υποστηρίζουν την άμεση εμφάνιση καρκίνου στον άνθρωπο λόγω των νιτρικών (Dunkan et al., 1997).

Η ύπαρξη υψηλών συγκεντρώσεων στα υπόγεια νερά είναι συνήθως αποτέλεσμα μη σημειακών πηγών ρύπανσης (Hall et al., 2001) κι οφείλεται κατά κύριο λόγο στην αλόγιστη χρήση αζωτούχων λιπασμάτων και κοπριάς καθώς και σε κτηνοτροφικές εργασίες και εγκαταστάσεις (Carey, 2002). Τα νιτρικά ιόντα είναι ευάλωτα στην έκπλυση καθώς είναι ευδιάλυτα και δεν δεσμεύονται στο έδαφος (Φιλίντας, 2005). Ο βαθμός νιτρορύπανσης των υπόγειων νερών εξαρτάται από την υφή του εδάφους, το κλίμα, την καλλιέργεια, τη μέθοδο άρδευσης, το ρυθμό και τη χρονική περίοδο λίπανσης καθώς και την αποδοτικότητα αυτής (Filintas et al., 2006). Εκτός απ' την έκπλυση των νιτρικών, μπορεί να παρατηρηθεί και ανοδική κίνηση αυτών στο ριζόστρωμα – μετά το τέλος της αρδευτικής περιόδου – λόγω της τριχοειδούς κίνησης του εδαφικού διαλύματος (Γιάσογλου, 1995). Πολλά νιτρικά και νιτρώδη μπορούν να βρεθούν επίσης στις απολήξεις των υπονόμων και των αποχετεύσεων αλλά μπορούν να προέλθουν κι από τη ρυπασμένη ατμόσφαιρα.

Η υψηλή συγκέντρωση αμμωνιακών ιόντων στα πόσιμα νερά δεν αποτελούν άμεσο κίνδυνο για την ανθρώπινη υγεία, ωστόσο η ύπαρξή τους αποτελεί ένδειξη ρύπανσης ή και μόλυνσης των υδάτων. Τα αμμωνιακά ιόντα είναι προϊόν μικροβιακής δράσης κατά τη διαδικασία αποικοδόμησης οργανικών ουσιών πλούσιων σε πρωτεΐνες όπως τα περιττώματα, τα προϊόντα σήψης, τα οικιακά και βιομηχανικά λύματα. Σε τέτοιες περιπτώσεις, οι συγκεντρώσεις των  $\text{NH}_4^+$  στα ύδατα κυμαίνονται μεταξύ 0,1 και 10ppm. Οι συγκεντρώσεις  $\text{NH}_4^+$  στα ύδατα προέρχονται κυρίως απ' την αναγωγή των νιτρικών ιόντων.

Η ανώτερη αποδεκτή συγκέντρωση στα πόσιμα νερά σύμφωνα με την Οδηγία της Ε.Ε. είναι 50 mg/l για τα νιτρικά, 0,1 mg/l για τα νιτρώδη και 0,5mg/l για τα αμμωνιακά. Η EPA θέτει σαν πρότυπο πόσιμου νερού τα 10 mg/l για τα νιτρικά και 0,1 mg/l για τα νιτρώδη ενώ ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (WHO, 2006) θέτει σαν ανώτατη αποδεκτή συγκέντρωση αμμωνιακών ιόντων στα πόσιμα νερά τα 0,05 mg/l.

Οι κίνδυνοι υγείας απ' την κατανάλωση νερού με υψηλή περιεκτικότητα σε νιτρικά είναι μικροί, συγκριτικά με τους κινδύνους πρόσληψης νιτρικών από άλλες πηγές του διαιτολογίου (Σιμώνης, 1998). Η τροφοδότηση των υπόγειων νερών με λύματα μη στεγανών σηπτικών βόθρων αυξάνουν την περιεκτικότητα των νερών σε αμμωνιακά ιόντα. Στους σηπτικούς βόθρους η περιεκτικότητα σε  $\text{NH}_4^+$  κυμαίνεται μεταξύ 40 και 80mg/l (Sikora et al., 1976).

Η ύπαρξη ελεύθερης αμμωνίας στα επιφανειακά νερά σε συγκεντρώσεις μεγαλύτερες των 0,2ppm είναι τοξική για τα ψάρια που είναι ευαίσθητα στο αλκαλικό περιβάλλον (Βασιλακιώτης & Φυτιάνος, 1986). Στις ίδιες συγκεντρώσεις δημιουργεί προβλήματα οσμής και γεύσης στο νερό και ελαττώνει την αποτελεσματικότητα της απολύμανσης. Τέλος, συμβάλλει στο σχηματισμό νιτρωδών στα συστήματα ύδρευσης (Παππά, 2001).

Στην περιοχή έρευνας που επικρατούν υψηλές θερμοκρασίες, η απώλεια των αζωτούχων λιπασμάτων λόγω εξάτμισης είναι μεγάλη (Tisdale & Nelson, 1975), κάτι που εξαναγκάζει τους αγρότες να εφαρμόσουν πλεονάζουσες ποσότητες αγροχημικών, που τελικά οδηγούν στην έκπλυση μεγάλου μέρους αυτών στον υπόγειο υδροφόρο.

### **i) Νιτρικά ιόντα (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)**

Τα υπόγεια νερά της περιοχής παρουσιάζουν βάσει της λιθολογικής ταξινόμησης τους τις ακόλουθες τιμές συγκέντρωσης σε νιτρικά ιόντα:

**α) νερά των τεταρτογενών σχηματισμών:** Οι συγκεντρώσεις νιτρικών ιόντων στα υπόγεια νερά των τεταρτογενών σχηματισμών κυμαίνονται από 9,68 έως 113,52 mg/l την ξηρή περίοδο και από 13,64 έως 137,94mg/l την υγρή. Οι μέσοι όροι είναι 50,39 mg/l και 58,88 mg/l αντίστοιχα. Τα νιτρικά ιόντα στα νερά της περιοχής είναι κατά κύριο λόγο ανθρωπογενούς προέλευσης και σχετίζονται με την υπερβολική χρήση αζωτούχων λιπασμάτων (Carey, 2002) και την ύπαρξη σηπτικών βόθρων (Alexakis & Kelepertsis, 1998). Η αύξηση των συγκεντρώσεων την υγρή περίοδο δείχνει πως το βρόχινο νερό ενισχύει την έκπλυση των λιπασμάτων και των λυμάτων των σηπτικών βόθρων. Εξαίρεση αποτελεί το πηγάδι Νο 24 με μόλις 2,2 mg/l NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, το οποίο δέχεται επιφανειακά ύδατα καλής ποιότητας.

**β) νερά των νεογενών σχηματισμών:** Παρεμφερείς συγκεντρώσεις NO<sub>3</sub><sup>-</sup> με τα ύδατα των τεταρτογενών σχηματισμών παρουσιάζουν και τα νερά των νεογενών σχηματισμών. Εξαίρεση αποτελεί το πηγάδι του Κορωπίου Νο 59 το οποίο περιστοιχίζεται από αγροτεμάχια. Οι τιμές ξηρής και υγρής περιόδου (399,3 mg/l και 427,9 mg/l), αποδίδονται σε έκπλυση νιτρικών ιόντων από την εφαρμογή πλεονάζουσων ποσοτήτων αζωτούχων λιπασμάτων. Στην περιοχή του Κορωπίου βρέθηκε παρεμφερής τιμή (425mg/l) και σε προηγούμενη έρευνα (Χαμπίδη, 2005). Ο μέσος όρος την ξηρή περίοδο είναι 60,37 mg/l και την υγρή αυξάνεται στα 79,45 mg/l. Οι ελάχιστες τιμές είναι 6,6 και 12,54 mg/l αντίστοιχα. Οι τιμές αποδίδονται στην εφαρμογή αζωτούχων λιπασμάτων και την έκπλυση μη στεγανών βόθρων.

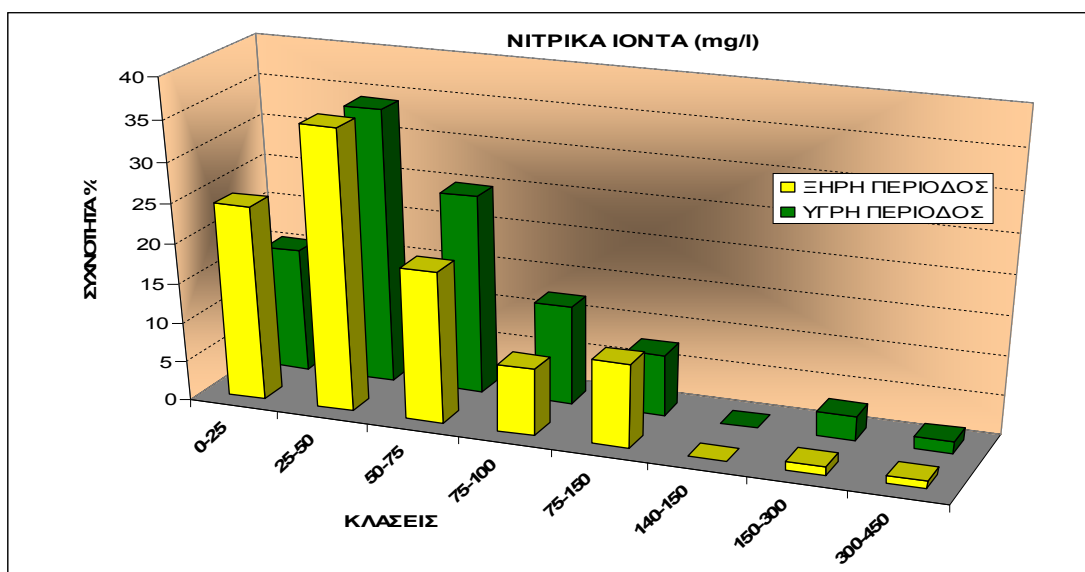
**γ) νερά των καρστικών ανθρακικών σχηματισμών:** Στα νερά των ανθρακικών σχηματισμών παρουσιάζεται παρόμοια εικόνα, ως προς την παρουσία των νιτρικών ιόντων, όπως και τα νερά που προέρχονται από τους υδροφόρους σχηματισμούς του Τεταρτογενούς και Νεογενούς. Οι τιμές κυμαίνονται από 2,86 έως 102,8 mg/l την ξηρή περίοδο με μέσο όρο 46,73mg/l και από 16,5 έως 85,36 mg/l την υγρή με μέσο όρο 47,13mg/l.

Από την κατηγοριοποίηση των συγκεντρώσεων των NO<sub>3</sub><sup>-</sup> των υπόγειων υδάτων της περιοχής σε κλάσεις (σχήμα 8.28) διαπιστώνεται ότι μεγάλο ποσοστό ξεπερνά το όριο των 50 mg/l που θέτει η Ε.Ε. για τα πόσιμα νερά. Η επικρατούσα κλάση είναι και στις δύο περιόδους μεταξύ 25-50 mg/l. Την ξηρή περίοδο ακολουθεί η κλάση μεταξύ 0-25mg/l ενώ την υγρή η κλάση μεταξύ 50-75 mg/l. Η θετική ασυμμετρία μειώνεται την υγρή περίοδο φανερόνοντας την αύξηση των τιμών των νιτρικών ιόντων, λόγω της συμβολής των κατακρημνισμάτων στην έκπλυση αυτών.

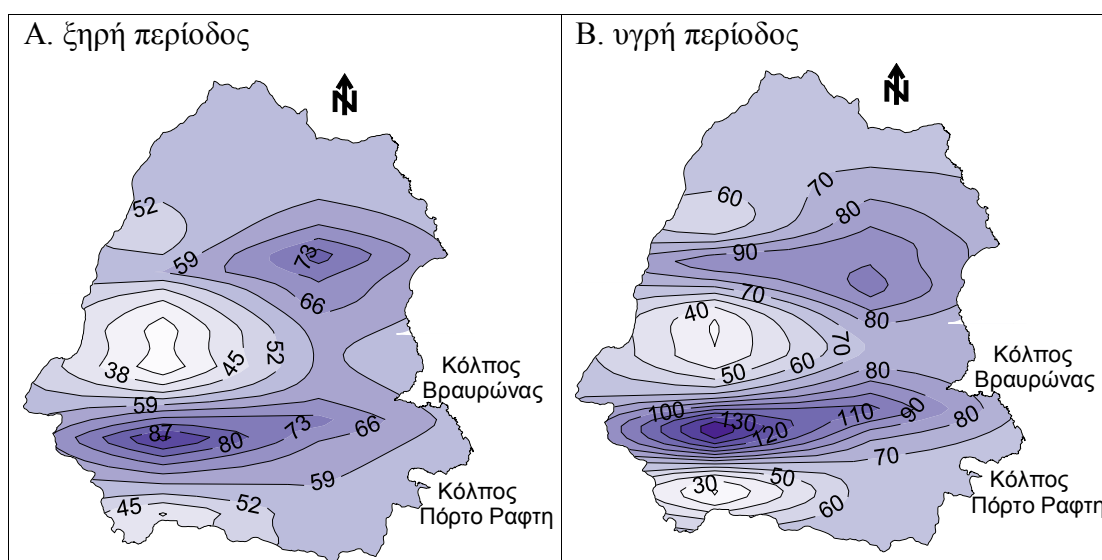
Προγενέστερες μελέτες στην περιοχή (Alexakis and Kelepertsis 1998, Χαμπίδη 2005, Stamatis et al. 2006) έδειξαν παρεμφερείς μέσους όρους στις συγκεντρώσεις νιτρικών, με πολύ μικρότερες μέγιστες τιμές (221 και 99,9 mg/l αντίστοιχα). Ο εντοπισμός των υψηλών (>300 mg/l) συγκεντρώσεων στην παρούσα και σε προηγούμενη έρευνα (Χαμπίδη, 2005) αποδίδεται προφανώς στη δειγματοληψία αρκετών δειγμάτων εντός των καλλιεργούμενων τμημάτων των Σπάτων και του Κορωπίου.

Οι ισοπεριεκτικές καμπύλες των νιτρικών ιόντων (σχήμα 8.29) αποκαλύπτουν υψηλές συγκεντρώσεις NO<sub>3</sub><sup>-</sup> κυρίως στο Κορωπί και την Παλλήνη αλλά και στα Σπάτα, το Γέρακα, τη Λούτσα, το Μαρκόπουλο και τη Ραφήνα αντικατοπτρίζοντας το μέγεθος της επιβάρυνσης των υπόγειων νερών της περιοχής έρευνας. Η παρουσία τους οφείλεται κυρίως στην έκπλυση των μεγάλων προστιθέμενων ποσοτήτων λιπασμάτων κι εδαφοβελτιωτικών (Carey, 2002) αλλά και στην έλλειψη αποχετευτικού δικτύου (Alexakis & Kelepertsis, 1998).





Σχήμα 8.28: Ιστογράμμο συχνοτήτων συγκεντρώσεων  $\text{NO}_3^-$  στα νερά της περιοχής (σε mg/l)



Σχήμα 8.29: Χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων  $\text{NO}_3^-$  των υπόγειων υδάτων (mg/l)

## ii) Αμμωνιακά ιόντα ( $\text{NH}_4^+$ )

Τα υπόγεια νερά της περιοχής παρουσιάζουν βάσει της λιθολογικής ταξινόμησης τους τις ακόλουθες τιμές συγκέντρωσης αμμωνιακών ιόντων:

**α) νερά των τεταρτογενών σχηματισμών:** Τα ύδατα των τεταρτογενών σχηματισμών παρουσιάζουν τιμές που κυμαίνονται την ξηρή περίοδο από 0,44 έως 2,93 mg/l με μέσο όρο 1,37 mg/l και την υγρή από 0,10 έως 3,97 mg/l με μέσο όρο 1,41 mg/l. Οι υψηλές συγκεντρώσεις αμμωνιακών ιόντων αποδίδονται στην υπέρμετρη χρήση αζωτούχων λιπασμάτων και στην έκπλυση λυμάτων μη στεγανών βόθρων.

**β) νερά των νεογενών σχηματισμών:** Τα ύδατα των νεογενών σχηματισμών παρουσιάζουν ελαφρώς υψηλότερες συγκεντρώσεις από τα νερά των τεταρτογενών σχηματισμών. Οι τιμές κυμαίνονται την ξηρή περίοδο από 0,23 έως 4,58 mg/l και την υγρή από 0,18 έως 4,93 mg/l. Οι αντίστοιχοι μέσοι όροι είναι 1,44 και 1,82 mg/l. Οι υψηλές συγκεντρώσεις αμμωνιακών ιόντων αποδίδονται, όπως και στα ύδατα των

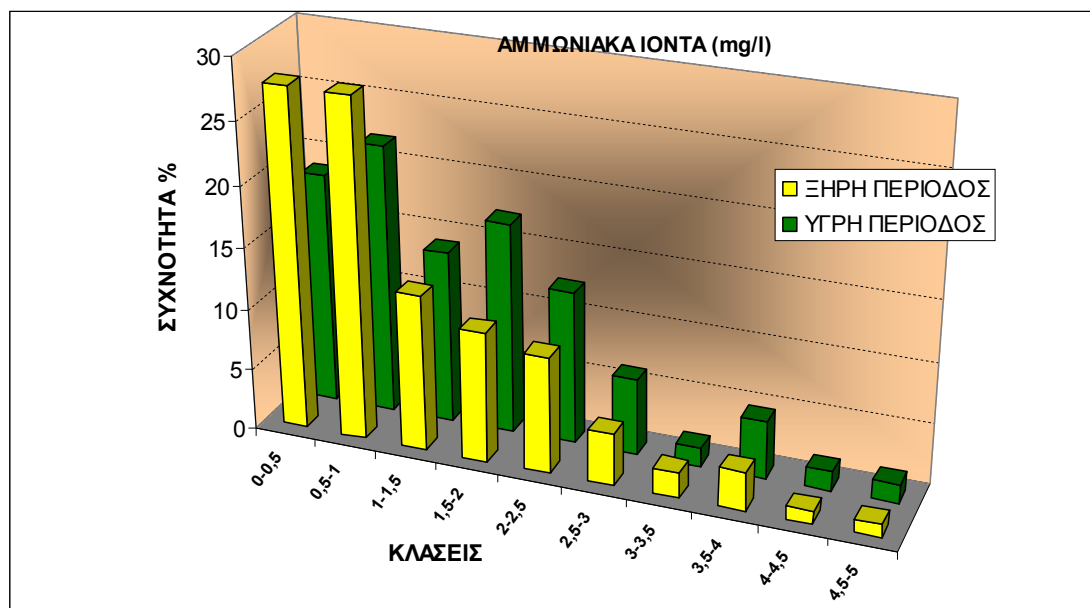
τεταρτογενών αποθέσεων στην πλεονάζουσα εφαρμογή αζωτούχων λιπασμάτων και στην έκπλυση των λυμάτων των μη στεγανών βόθρων.

γ) **νερά ανθρακικών σχηματισμών:** Τα ύδατα των ανθρακικών σχηματισμών παρουσιάζουν καλύτερη ποιότητα όσον αφορά τα αμμωνιακά ιόντα απ' τα ύδατα των τριτογενών και τεταρτογενών σχηματισμών. Το 50% των δειγμάτων βρίσκονται κάτω απ' το όριο των 0,50 mg/l που θέτει η Ε.Ε. για τα πόσιμα νερά. Οι τιμές στα αβαθή πηγάδια και γεωτρήσεις κυμαίνονται από 0,12 έως 1,48 mg/l την ξηρή περίοδο και από 0,11 έως 1,44 mg/l την υγρή περίοδο. Οι ιδιαίτερα υψηλές συγκεντρώσεις αμμωνιακών στα όμορα δείγματα Νο 72 και 73 των βαθύτερων ανθρακικών σχηματισμών οφείλονται σε σημειακή πηγή ρύπανσης (έκπλυση εφαρμοζόμενων λιπασμάτων και λυμάτων μη στεγανών βόθρων).

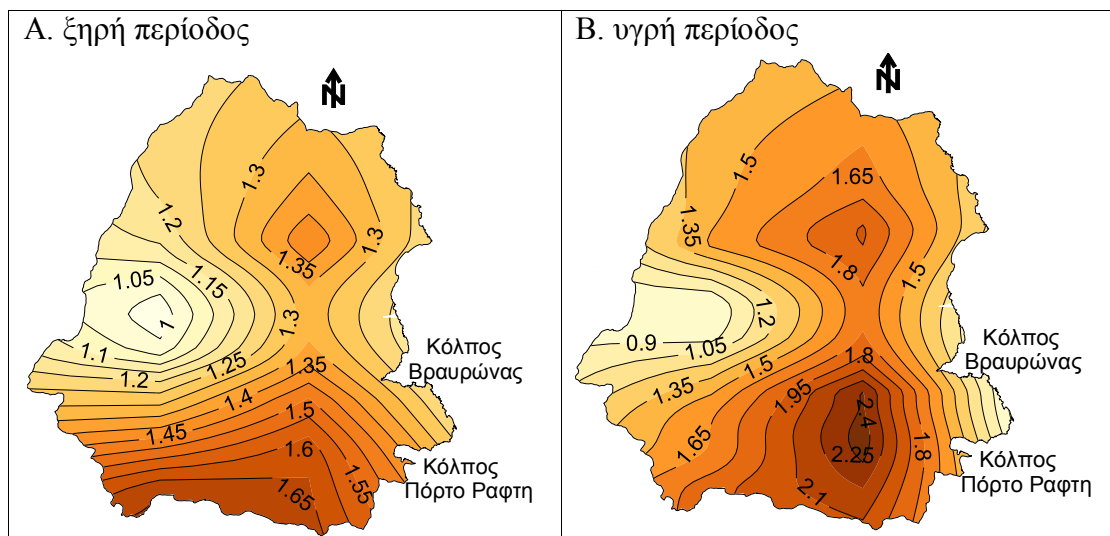
Από την κατηγοριοποίηση των συγκεντρώσεων αμμωνιακών ιόντων ( $\text{NH}_4^+$ ) σε κλάσεις (σχήμα 8.30) διαπιστώνεται ότι ένας πολύ μικρός αριθμός δειγμάτων παρουσιάζει τιμές που βρίσκονται κάτω από τα ανώτατα επιτρεπτά όρια της Ε.Ε. για τα πόσιμα νερά (0,5mg/l). Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι όλες οι συγκεντρώσεις αμμωνιακών ιόντων ξεπερνούν το όριο του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (0,05 mg/l) για τα πόσιμα νερά. Οι επικρατούσες κλάσεις και στις δύο περιόδους είναι από 0-0,5 mg/l και από 0,5-1 mg/l. Την υγρή περίοδο παρατηρείται αύξηση της συχνότητας εμφάνισης στις κλάσεις με τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις λόγω της συμβολής των κατακρημνισμάτων στην έκπλυση ρυπαντικών στοιχείων.

Παρεμφερείς τιμές έδειξαν και προγενέστερες μελέτες στην περιοχή (Alexakis and Kelepertsis 1998, Χαμπίδη 2005, Stamatis et al. 2006).

Στο χάρτη ισοπεριεκτικών καμπυλών (σχήμα 8.31) παρατηρούνται αυξημένες συγκεντρώσεις των αμμωνιακών γύρω απ' τις στερούμενες αποχετευτικού δικτύου (Sikora et al., 1976) πόλεις Μαρκόπουλο, Κορωπί, Παλλήνη, Πικέρμι, Σπάτα, Ραφήνα. Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις που παρατηρούνται στις καλλιεργούμενες περιοχές του Κορωπίου, του νότιου τμήματος του κάμπου Μεσογείων και του Μαρκόπουλου πιθανότατα οφείλονται σε προσθήκη αζωτούχων λιπασμάτων (Γιάσογλου, 1995).



Σχήμα 8.30: Ιστόγραμμα συχνότητας συγκεντρώσεων  $\text{NH}_4^+$  στα νερά της περιοχής (σε mg/l)



Σχήμα 8.31: Χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων  $\text{NH}_4^+$  των υπόγειων υδάτων (mg/l)

#### 8.4.2.9 Φωσφορικά ( $\text{PO}_4^{3-}$ )

Η συγκέντρωση του P ανέρχεται στα μαγματικά πετρώματα στα 1.100mg/kg, στους ψαμίτες 539mg/kg, στους αργίλους 733mg/kg και στα ανθρακικά πετρώματα 281mg/kg (Matthess, 1973).

Η ύπαρξη μεγάλης συγκέντρωσης φωσφόρου στα φυσικά νερά αποδίδεται σε ανθρωπογενείς δραστηριότητες και μπορεί να προέρχεται από προσθήκη λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων στους αγρούς, διαβρωμένο έδαφος, ελαιοχρωματισμούς, σηπτικούς βόθρους, σκουπίδια, σαπούνια κι απορρυπαντικά, λάδια μηχανών και λοιπά λιπαντικά, κτηνοτροφικά απόβλητα ([www.nhllakes.org/edbrochures/phosphoruspollution.htm](http://www.nhllakes.org/edbrochures/phosphoruspollution.htm)).

Η τροφοδότηση των υπόγειων νερών με λύματα μη στεγανών σηπτικών βόθρων θεωρείται η κύρια αιτία ρύπανσης των υπόγειων νερών με υπερβολική ποσότητα P. Τα λύματα των σηπτικών βόθρων θεωρούνται ότι περιέχουν 10-30 mg/l  $\text{PO}_4^{3-}$  (Sikora et al., 1976). Η προσθήκη υπερβολικών ποσοτήτων φωσφορικών λιπασμάτων δεν θεωρείται ότι συμβάλλει σημαντικά στην ρύπανση του υδροφόρου με φωσφορικά ιόντα, καθώς ο φώσφορος είναι επιρρεπής στην απώλεια μέσω επιφανειακής απορροής κι όχι μέσω έκπλυσης προς τα κατώτερα στρώματα (Καλλέργης, 2000).

Οι συνήθεις ιοντικές συγκεντρώσεις  $\text{PO}_4^{3-}$  που απαντώνται στα φυσικά υπόγεια νερά είναι μεταξύ 0-0,94 mg/l, προερχόμενες κυρίως από οργανική ύλη ή φωσφορικά πετρώματα (Apello & Postma, 1996).

Ο Φώσφορος είναι ένα απαραίτητο στοιχείο που βρίσκεται σε όλα τα κύτταρα στο ανθρώπινο σώμα. Περιέχεται κατά κύριο λόγο στα κόκαλα (σε ποσοστό 85%), στους μύες σε ποσοστό 14% καθώς επίσης και στις κυτταρικές μεμβράνες ([www.tjclarkinc.com/minerals](http://www.tjclarkinc.com/minerals)). Η έλλειψη P, αν και σπάνια υφίσταται στην ανθρώπινη διατροφή, προκαλεί αναπνευστικές, μυϊκές, αιματολογικές, νευρολογικές, καρδιακές και νεφρικές δυσλειτουργίες (Allen & Wood, 1994). Η συνήθης ημερήσια κατανάλωση φωσφόρου είναι 1.600mg για τους άντρες και 1.000mg για τις γυναίκες ενώ δόση μεγαλύτερη των 3-4gr μπορεί να προκαλέσει προβλήματα.

Σύμφωνα με την οδηγία της Ε.Ε. το ανώτατο όριο της συγκέντρωσης του  $\text{P}_2\text{O}_5$  είναι 5 mg/l ( $\approx 6,69$  mg/l  $\text{PO}_4^{3-}$ ) με ενδεικτική τιμή γύρω στα 0,4mg/l ( $\approx 0,54$  mg/l  $\text{PO}_4^{3-}$ ).

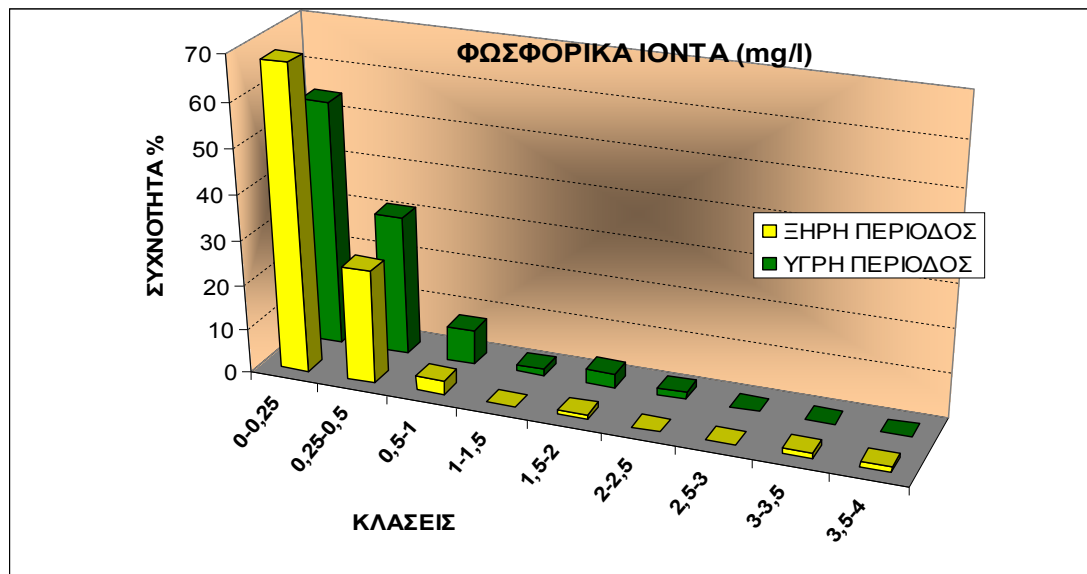
Τα υπόγεια νερά της περιοχής παρουσιάζουν βάσει της λιθολογικής ταξινόμησης τους τις ακόλουθες τιμές συγκέντρωσης σε φωσφορικά ιόντα:

**α) νερά των τεταρτογενών σχηματισμών:** Οι συγκεντρώσεις φωσφορικών ιόντων ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) στα υπόγεια νερά των τεταρτογενών σχηματισμών δεν ξεπερνούν το ανώτατο όριο που θέτει η Ε.Ε. για τα πόσιμα νερά. Οι τιμές κυμαίνονται την ξηρή περίοδο από 0,11 έως 0,49 mg/l με μέσο όρο 0,22 mg/l και την υγρή από 0,09 έως 1,52 mg/l με μέσο όρο 0,28 mg/l. Οι μεγάλες συγκεντρώσεις φωσφορικών ιόντων αποδίδονται στην έκπλυση των λυμάτων των σηπτικών βόθρων (Sikora et al., 1976).

**β) νερά των νεογενών σχηματισμών:** Τα υπόγεια ύδατα των νεογενών σχηματισμών παρουσιάζουν λίγο υψηλότερες συγκεντρώσεις φωσφορικών ιόντων που κυμαίνονται την ξηρή περίοδο από 0,03 έως 3,30 mg/l και την υγρή από 0,16 έως 2,22 mg/l. Οι μέσοι όροι είναι 0,32 και 0,44 mg/l αντίστοιχα, πλησίον της ενδεικτικής τιμής που θέτει η Ε.Ε. για τα πόσιμα νερά. Οι υψηλές συγκεντρώσεις εντοπίστηκαν σε οικισμούς που στερούνται αποχετευτικού δικτύου κι αποδίδονται στην έκπλυση των λυμάτων των μη στεγανών βόθρων (Sikora et al., 1976).

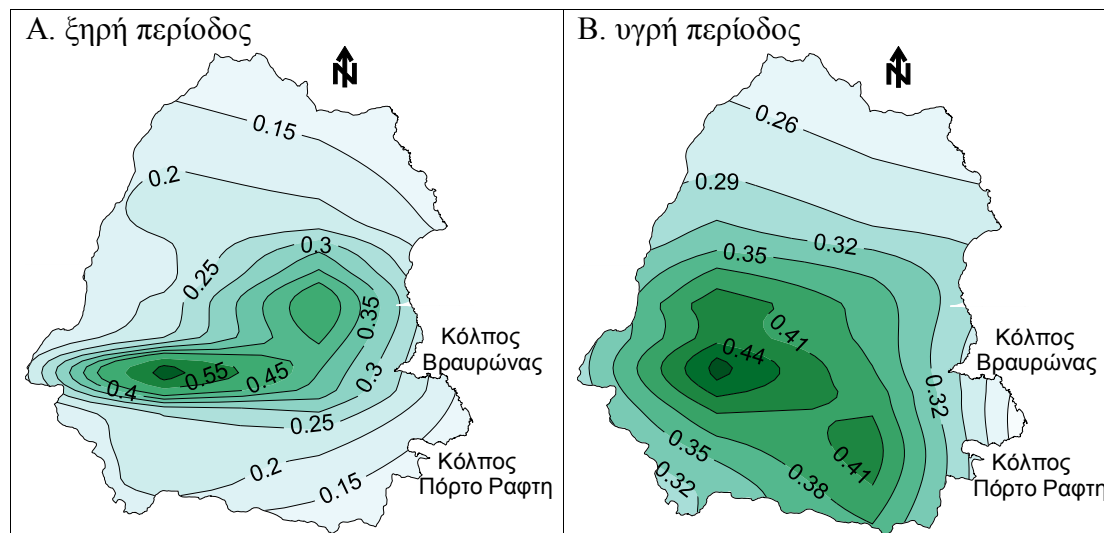
**γ) νερά των καρστικών ανθρακικών σχηματισμών:** Οι συγκεντρώσεις φωσφορικών ιόντων ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) στα υπόγεια νερά των ανθρακικών σχηματισμών παρουσιάζουν τις χαμηλότερες τιμές συγκριτικά με τα νερά των τριτογενών και τεταρτογενών αποθέσεων. Οι τιμές κυμαίνονται από 0,06 έως 0,7 mg/l την ξηρή περίοδο και από 0,1 έως 1,0 mg/l την υγρή με αντίστοιχους μέσους όρους 0,4 και 0,29 mg/l. Εξαιρέση αποτελεί η γεώτρηση Νο 40 στα Σπάτα (σχήμα 8.1), ιδιοκτησίας εργοστασίου παραγωγής και μεταφοράς τσιμέντου που εμφανίζει την ξηρή περίοδο συγκέντρωση 4,0 mg/l. Προφανώς τα διάφορα συνθετικά πρόσθετα που χρησιμοποιούνται στην παραγωγή των διαφόρων τύπων μπετόν, καθώς και τα λύματα παρακείμενου σηπτικού βόθρου επηρεάζουν άμεσα την καρστική υδροφορία της περιοχής.

Από το ιστόγραμμα συγκεντρώσεων φωσφορικών ιόντων ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) στα υπόγεια νερά της περιοχής (σχήμα 8.32) προκύπτει πως η επικρατούσα κλάση και στις δύο περιόδους είναι από 0-0,25 mg/l κι ακολουθεί η κλάση από 0,25-0,5 mg/l. Η κατανομή παρουσιάζει θετική ασυμμετρία, υποδηλώνοντας την επικράτηση των χαμηλότερων τιμών. Η επικράτηση χαμηλών τιμών παρατηρείται και στις έρευνες των Alexakis and Kelepertsis (1998), Χαμπίδη (2005) και Stamatis et al. (2006).



Σχήμα 8.32: Ιστόγραμμα συχνοτήτων συγκεντρώσεων  $\text{PO}_4^{3-}$  στα νερά της περιοχής (σε mg/l)

Η χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων φωσφορικών ιόντων ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) στην περιοχή έρευνας (σχήμα 8.33) δείχνει την αυξητική τάση προς τις καλλιεργούμενες εκτάσεις και τις κατοικημένες και στερούμενες αποχετευτικού δικτύου περιοχές, όπως αναδεικνύεται η περιοχή της Παιανίας και των Σπάτων κατά την ξηρή περίοδο και η περιοχή της Παιανίας και Μαρκόπουλου κατά την υγρή περίοδο.



Σχήμα 8.33: Χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων  $\text{PO}_4^{3-}$  των υπόγειων υδάτων (mg/l)

#### 8.4.2.10 Βρώμιο ( $\text{Br}^-$ )

Η συγκέντρωση του Br στα μαγματικά πετρώματα ανέρχεται στα 2,37mg/kg, στους ψαμμίτες στο 1,0 mg/kg, στους αργίλους στα 4,3mg/kg, στα ανθρακικά πετρώματα στα 6,6 mg/kg και στους εβαπορίτες στα 33mg/kg. Στο θαλασινό νερό η συγκέντρωση του Br ανέρχεται στα 7,3mg/kg (Matthess, 1973). Η συγκέντρωση του βρωμίου στα γλυκά νερά δεν ξεπερνά τα 0,01mg/l (Βουδούρης, 2009).

Είναι ένα ιχνοστοιχείο που ανήκει στην κατηγορία των αλογόνων και προσλαμβάνεται ημερησίως στη διατροφή μας σε μια συγκέντρωση που κυμαίνεται μεταξύ 2 και 8 mg. Οι τροφές που περιέχουν υψηλές συγκεντρώσεις βρωμίου είναι τα ψάρια, τα δημητριακά και τα καρύδια.

Συνήθως το βρώμιο μπαίνει στην ανθρώπινη διατροφή με τη μορφή του ιόντος βρωμίου ( $\text{Br}^-$ ), το οποίο έχει πολύ χαμηλή τοξικότητα και θεωρείται αβλαβές. Η ύπαρξή του στα πόσιμα νερά συνδέεται συνήθως με την “εισβολή” της θάλασσας στα υπόγεια νερά ή με τη ρίψη φυτοφαρμάκων που περιέχουν στη σύστασή τους το βρωμιούχο ιόν (Kabata-Pendias and Pendias, 1992).

Οι συγκεντρώσεις των ιόντων βρωμίου στα νερά της περιοχής βρίσκονται σε χαμηλά επίπεδα και κυμαίνονται από 0 έως 0,26 mg/l (πίνακες 8.2, 8.4 και 8.5). Η σχέση Cl:Br δίνει σημαντικές πληροφορίες για το αν τα νερά έχουν σε επαφή με εβαπορίτες ή με το θαλασινό νερό (Βουδούρης, 2009). Οι λόγοι αυτοί στα νερά της περιοχής έρευνας (πίνακας 8.42 – κεφάλαιο 8.8.1) εμφανίζονται ιδιαίτερα υψηλοί κάτι που υποδεικνύει την ύπαρξη εβαποριτών.

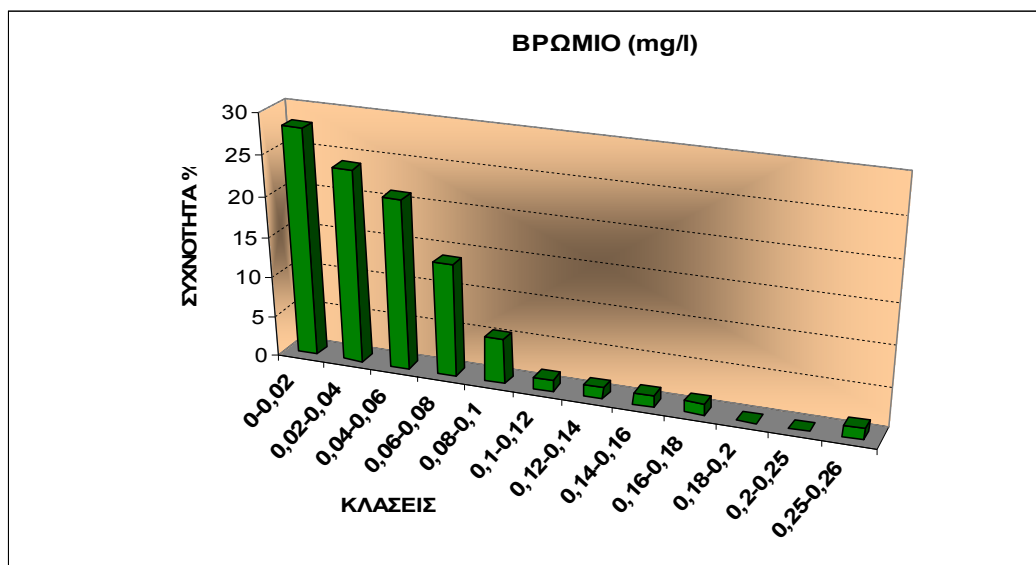
Τα υπόγεια νερά της περιοχής παρουσιάζουν βάσει της λιθολογικής ταξινόμησης τους τις ακόλουθες τιμές συγκέντρωσης σε ιόντα βρωμίου:

**α) νερά των τεταρτογενών σχηματισμών:** Στα ύδατα των τεταρτογενών σχηματισμών, οι συγκεντρώσεις ιόντων βρωμίου είναι σχετικά χαμηλές και κυμαίνονται μεταξύ 0 και 0,11 mg/l με μέσο όρο 0,04 mg/l.

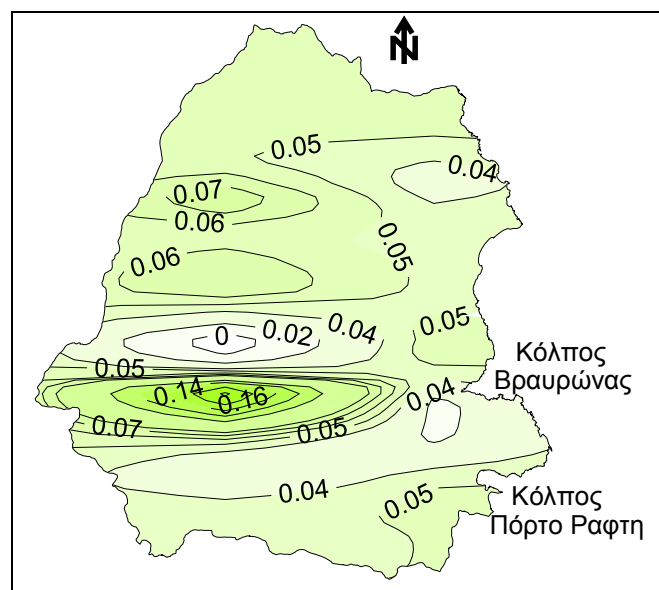
**β) νερά των νεογενών σχηματισμών:** Στα ύδατα των νεογενών σχηματισμών οι συγκεντρώσεις ιόντων βρωμίου κυμαίνονται μεταξύ 0,01 και 0,26 mg/l με μέσο όρο 0,06 mg/l. Οι ελαφρώς αυξημένες τιμές στα ύδατα των νεογενών σχηματισμών συγκριτικά με τα υπόλοιπα νερά αποδίδονται στην διάλυση εβαποριτών (Stamatis et al., 2006).

**γ) νερά των καρστικών ανθρακικών σχηματισμών:** Στα υπόγεια νερά των ανθρακικών σχηματισμών οι συγκεντρώσεις ιόντων βρωμίου κυμαίνονται μεταξύ 0 και 0,13 mg/l με μέσο όρο 0,04 mg/l, σε παρεμφερείς τιμές με αυτές των τεταρτογενών σχηματισμών.

Η κατηγοριοποίηση των υπόγειων υδάτων με βάση τις συγκεντρώσεις βρωμίου παρουσιάζεται στο σχήμα 8.34. Η κλάση με τη μεγαλύτερη συχνότητα είναι αυτή με τις μικρότερες συγκεντρώσεις, από 0 έως 0,02 mg/l. Η κατανομή παρουσιάζει θετική ασυμμετρία, κάτι που δείχνει την επικράτηση γενικά χαμηλών τιμών στις συγκεντρώσεις βρωμίου.



Σχήμα 8.34: Ιστόγραμμα συχνοτήτων συγκεντρώσεων Βρωμίου στα νερά της περιοχής (σε mg/l).



Σχήμα 8.35: Χωρική κατανομή ιόντων Βρωμίου (mg/l)



Τις υψηλότερες συγκεντρώσεις παρουσιάζουν τα νερά του νότιου τμήματος της καλλιεργούμενης περιοχής του Κορωπίου και Σπάτων (σχήμα 8.35) κι αποδίδονται σε ρίψη φυτοφαρμάκων που περιέχουν το βρωμιούχο ιόν (Kabata-Pendias and Pendias, 1992). Αυξημένες συγκεντρώσεις παρατηρούνται επίσης στο βορειοδυτικό τμήμα της περιοχής, όπου βρίσκονται οι κατοικημένες περιοχές του Γέρακα, της Παλλήνης και των Γλυκών Νερών (σχήμα 8.38) κι αποδίδονται κυρίως στη διάλυση των υπολειμματικών εβαποριτικών αλάτων που υπάρχουν προφανώς εντός των νεογενών σχηματισμών (Matthess 1973, Stamatis et al. 2006, Βουδούρης 2009).

#### 8.4.2.11 Ιώδιο (I)

Η περιεκτικότητα των περισσότερων πετρωμάτων σε ιώδιο κυμαίνεται από 0,01 έως 6ppm. Η μέγιστη τιμή εμφανίζεται στους πλούσιους σε οργανική ουσία σχιστόλιθους, η αποσάθρωση των οποίων απελευθερώνει σημαντικές ποσότητες ιωδίου. Η συγκέντρωση του ιωδίου ανέρχεται στα μαγματικά πετρώματα στα 0,45mg/kg, στους ψαμμίτες στα 3,75 mg/kg, στους αργίλους στα 4,4mg/kg, στα ανθρακικά πετρώματα στα 1,59 mg/kg και στους εβαπορίτες στο 1mg/kg. Στο θαλασσινό νερό η συγκέντρωση του ιωδίου ανέρχεται στα 0,064 mg/kg (Matthess, 1973).

Η αντίστοιχη περιεκτικότητα ιωδίου στα εδάφη κυμαίνεται από <0,1 έως 10 ppm, εξαρτώμενο απ' τα κατακρημνίσματα και την απόσταση απ' την θάλασσα. Έχει αποδειχθεί ότι τα εδάφη των παράκτιων περιοχών είναι εμπλουτισμένα με το στοιχείο αυτό (Lag and Steines, 1976).

Το ιώδιο είναι ένα αμέταλλο στοιχείο που ανήκει στα αλογόνα. Θεωρείται αρκετά σημαντικό για τον οργανισμό παίζοντας σημαντικό ρόλο στη ρύθμιση των ορμονών του θυρεοειδούς αδένου. Η ανεπάρκεια ιωδίου μπορεί να επηρεάσει αρνητικά τη σωματική ανάπτυξη και τη λειτουργία των νεύρων με άμεσες συνέπειες στον εγκέφαλο. Μπορεί επίσης να προκαλέσει βρογχοκήλη, υπολειτουργούντα θυρεοειδή και κρετινισμό. Η ενδεικτική τιμή ημερήσιας κατανάλωσης κυμαίνεται γύρω στα 150 μg/ημέρα και ποτέ δεν ξεπερνά τα 200 μg/ημέρα. Χρόνια κι υπερβολική κατανάλωση ιωδίου μπορεί να οδηγήσει σε εμφάνιση υπερθυρεοειδισμού και υποθυρεοειδισμού.

Η ύπαρξη Ιωδίου στα φυσικά νερά συνήθως συνδέεται με τη χρήση αγροχημικών (Kabata-Pendias and Pendias, 1992) και με την είσοδο της θάλασσας στον υδροφόρο (Matthess, 1973).

Τα υπόγεια νερά της περιοχής παρουσιάζουν βάσει της λιθολογικής ταξινόμησης τους τις ακόλουθες τιμές συγκέντρωσης σε ιόντα ιωδίου:

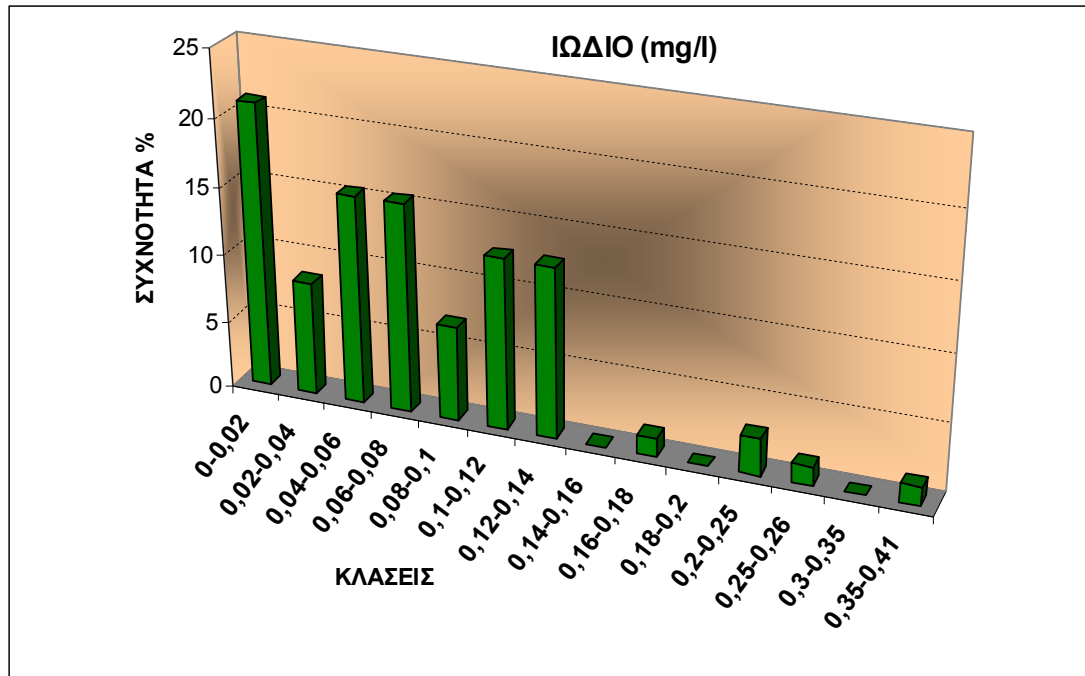
**α) νερά των τεταρτογενών σχηματισμών:** Οι συγκεντρώσεις ιωδίου στα υπόγεια ύδατα των τεταρτογενών σχηματισμών παρουσιάζουν τις μικρότερες τιμές στην περιοχή, που κυμαίνονται από 0-0,18 mg/l με μέσο όρο 0,07 mg/l.

**β) νερά των νεογενών σχηματισμών:** Στα ύδατα των νεογενών σχηματισμών οι συγκεντρώσεις ιόντων ιωδίου κυμαίνονται μεταξύ 0 και 0,41 mg/l με μέσο όρο 0,09 mg/l. Η μέγιστη τιμή (0,41 mg/l) ανιχνεύθηκε στο πηγάδι Νο 44 στην καλλιεργούμενη περιοχή του Κορωπίου και πιθανόν αποδίδεται σε έκπλυση από την εφαρμογή φυτοφαρμάκων (Kabata-Pendias and Pendias, 1992).

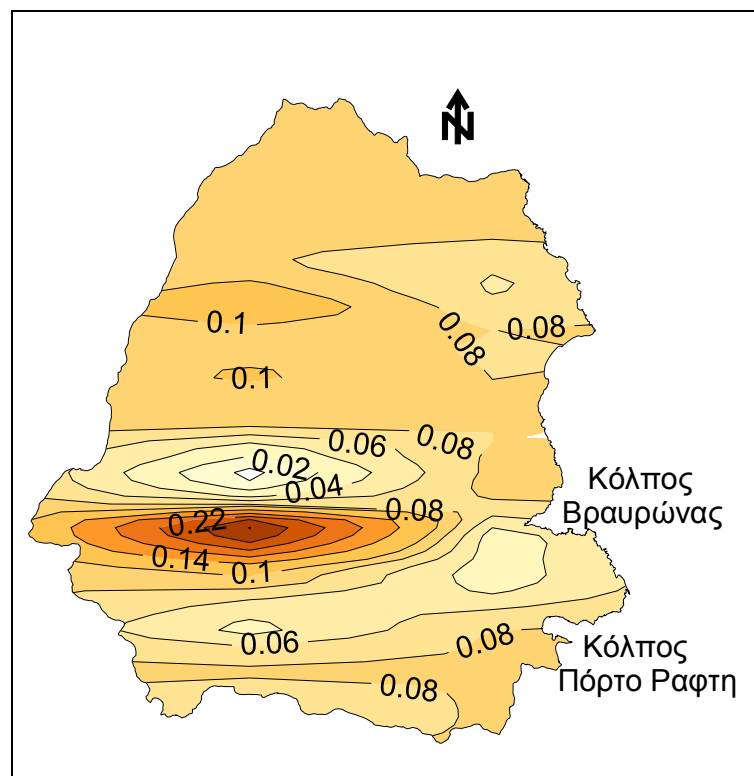
**γ) νερά των καρστικών ανθρακικών σχηματισμών:** Οι συγκεντρώσεις ιωδίου στα ύδατα των ανθρακικών σχηματισμών κυμαίνονται από 0 έως 0,22 mg/l με μέσο όρο 0,09 mg/l. Γενικά, οι τιμές είναι χαμηλές κι αποδίδονται σε έκπλυση εφαρμογής φυτοφαρμάκων (Kabata-Pendias and Pendias, 1992) και σε διείσδυση της θάλασσας στον υδροφόρο της παράκτιας ζώνης (Lag and Steines, 1976).



Στο σχήμα 8.36 αποτυπώνεται η κατηγοριοποίηση των συγκεντρώσεων ιωδίου των υπόγειων νερών της περιοχής σε κλάσεις. Η επικρατούσα κλάση είναι αυτή με τις μικρότερες συγκεντρώσεις, από 0 έως 0,02 mg/l, όπως και στις συγκεντρώσεις βρωμίου. Η θετική ασυμμετρία δείχνει την επικράτηση χαμηλών τιμών.



Σχήμα 8.36 Ιστόγραμμα συχνοτήτων συγκεντρώσεων Ιωδίου στα νερά της περιοχής (σε mg/l)



Σχήμα 8.37: Χωρική κατανομή ιόντων Ιωδίου (mg/l)

Η χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων ιωδίου στα υπόγεια νερά της περιοχής (σχήμα 8.37) παρουσιάζει ομοιότητες με αυτήν του βρωμίου κι αποδίδεται σε ρίψη

φυτοφαρμάκων (Kabata-Pendias and Pendias, 1992). Στην παράκτια ζώνη η εμφάνιση του Ιωδίου συνδυάζεται με τη διείσδυση του θαλασσινού νερού (Lag and Steines, 1976). Η προέλευση του Ιωδίου στη Ραφήνα σχετίζεται με την ύπαρξη οργανική ύλης εντός των ιζημάτων του κατώτερου νεογενούς (κοιτάσματα λιγνίτη, Μαρίνος, 1955).

#### 8.4.2.12 Φθόριο (F<sub>2</sub>)

Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις φθορίου απαντώνται στα όξινα πυριγενή πετρώματα. Σημαντική πηγή προέλευσης αποτελούν τα ορυκτά αμφίβολοι, ο απατίτης, ο φθορίτης κι οι μαρμαρυγίες. Η συγκέντρωση του F στα μαγματικά πετρώματα ανέρχεται στα 715 mg/kg, στους ψαμμίτες στα 220 mg/kg, στους αργίλους στα 560 mg/kg, στα ανθρακικά πετρώματα στα 112 mg/kg και στους εβαπορίτες στα 24 mg/kg (Matthess, 1973).

Η μέση συγκέντρωση φθορίου στα εδάφη, παγκοσμίως, είναι 329ppm, με τις μικρότερες ποσότητες να παρουσιάζονται στα αμμώδη εδάφη – κάτω από υγρό κλίμα – και τις μεγαλύτερες στα βαριά αργιλώδη (McDonnel, 1992).

Στα υπόγεια νερά βρίσκεται με τη μορφή φθοριούχων αλάτων. Η Ε.Ρ.Α. δίνει πρότυπη συγκέντρωση στα πόσιμα νερά 4 mg/l ενώ σύμφωνα με τον Apello η μέγιστη επιτρεπτή συγκέντρωση στα πόσιμα νερά είναι 1,5 mg/l. Συγκεντρώσεις φθορίου στο νερό, μεγαλύτερες των 5mg/l το καθιστούν ακατάλληλο προς πόση (Βουδούρης, 2009). Συνήθως η συγκέντρωση του φθορίου στα φυσικά νερά δεν ξεπερνά τα 1,0 mg/l. (Καλλέργης, 2000).

Σε συγκεντρώσεις έως 1,0 mg/l είναι ωφέλιμο γιατί προλαμβάνει την τερηδόνα των δοντιών και συντελεί στην καλύτερη ανάπτυξη της αδαμαντίνης (Βουδούρης, 2009).

Το φθόριο είναι ένα ιχνοστοιχείο που ανήκει στην κατηγορία των αλογόνων και βρίσκεται στο ανθρώπινο σώμα σχεδόν ολοκληρωτικά στα δόντια και τα οστά. Ο Σύνδεσμος Τροφίμων και Διατροφής της Εθνικής Ακαδημίας Επιστημών προτείνει την πρόσληψη 0,05 mg F /kg ζώντους βάρους μετά την ηλικία των 6 μηνών. Το φθόριο θεωρείται ότι εισέρχεται στην ανθρώπινη διατροφή κυρίως απ' το πόσιμο νερό. Η υπερβολική πρόσληψη φθορίου παρουσιάζει συμπτώματα, κυρίως στα παιδιά κάτω των 8 ετών προκαλώντας κηλίδες και λευκές γραμμές στο σμάλτο των δοντιών, που είναι ευάλωτες στο σάπισμα ([www.tjelarkinc.com/minerals](http://www.tjelarkinc.com/minerals)).

Τα υπόγεια νερά της περιοχής παρουσιάζουν βάσει της λιθολογικής ταξινόμησης τους τις ακόλουθες τιμές συγκέντρωσης σε ιόντα φθορίου:

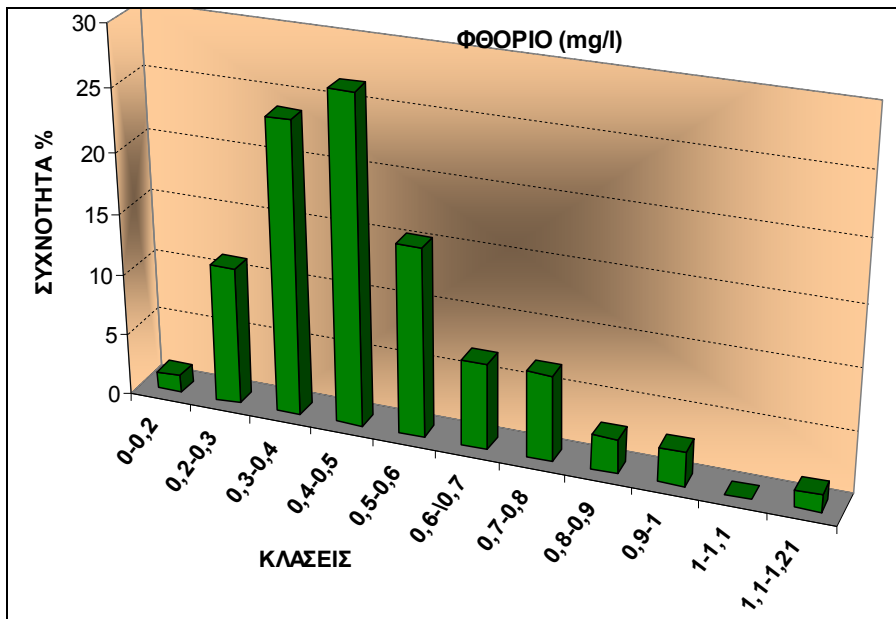
**α) νερά των τεταρτογενών σχηματισμών:** Στα ύδατα των τεταρτογενών σχηματισμών, οι συγκεντρώσεις ιόντων φθορίου κυμαίνονται μεταξύ 0,35 και 0,97 mg/l με μέσο όρο 0,56 mg/l.

**β) νερά των νεογενών σχηματισμών:** Στα ύδατα των νεογενών σχηματισμών οι συγκεντρώσεις ιόντων φθορίου κυμαίνονται μεταξύ 0,24 και 1,21 mg/l με μέσο όρο 0,54 mg/l.

**γ) νερά των καρστικών ανθρακικών σχηματισμών:** Οι συγκεντρώσεις φθορίου στα υπόγεια νερά των ανθρακικών σχηματισμών κυμαίνονται μεταξύ 0,02 και 0,80 mg/l με μέσο όρο 0,39 mg/l, παρουσιάζοντας τις χαμηλότερες τιμές στην περιοχή.

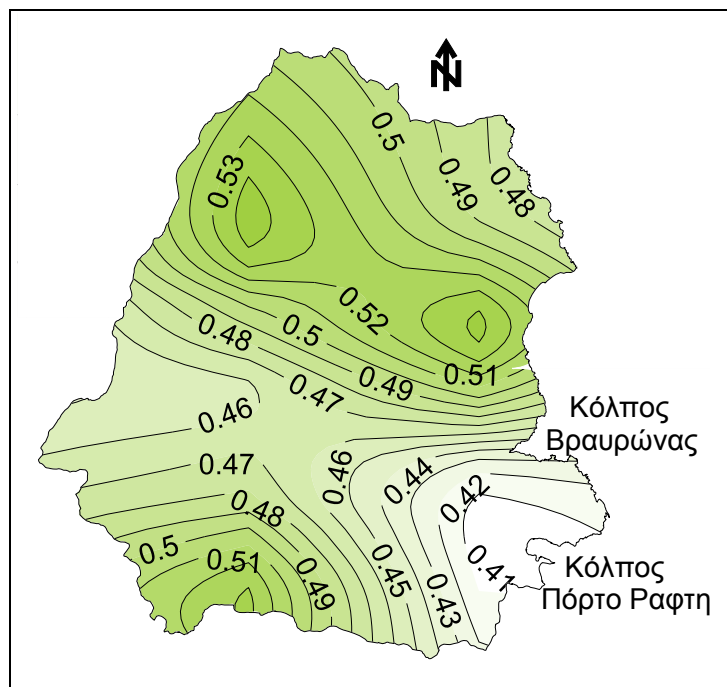
Από το διάγραμμα κατηγοριοποίησης σε κλάσεις των συγκεντρώσεων φθορίου στα υπόγεια νερά της περιοχής (σχήμα 8.38) παρατηρείται η επικράτηση των κλάσεων μεταξύ 0,4-0,5mg/l και 0,3-0,4mg/l με συχνότητα εμφάνισης περίπου 25%.

Η ύπαρξη φθορίου στα νερά της περιοχής αποδίδεται στην εφαρμογή φυτοφαρμάκων και φωσφορούχων λιπασμάτων (Kabata-Pendias and Pendias, 1992).



Σχήμα 8.38: Ιστόγραμμα συχνοτήτων συγκεντρώσεων Φθορίου στα νερά της περιοχής (σε mg/l)

Η χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων φθορίου στα νερά της περιοχής αποτυπώνεται στο σχήμα 8.39. Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις, που ωστόσο δεν είναι επικίνδυνες για την ανθρώπινη υγεία, παρατηρούνται στο βόρειο τμήμα, στο παράκτιο τμήμα της Λούτσας και στις καλλιεργούμενες περιοχές του Κορωπίου (σχήμα 8.39), αποδιδόμενες σε χρήση φυτοφαρμάκων και φωσφορικών λιπασμάτων (Kabata-Pendias & Pendias, 1992).



Σχήμα 8.39: Χωρική κατανομή ιόντων Φθορίου (mg/l)

#### 8.4.2.13 Διοξείδιο του Πυριτίου (SiO<sub>2</sub>)

Το πυρίτιο περιέχεται στα πετρώματα και στα εδάφη του γήινου φλοιού σε ποσότητα περίπου 25% και είναι το δεύτερο μετά το οξυγόνο στοιχείο. Οι μεγαλύτερες ποσότητες πυριτίου περιέχονται στα όξινα εκρηξιγενή, γρανιτικά πετρώματα με περιεκτικότητα διοξειδίου του πυριτίου (SiO<sub>2</sub>) περίπου 64%, ακολουθούν τα βασικά ηφαιστειακά βασάλτικα πετρώματα με περιεκτικότητα διοξειδίου του πυριτίου (SiO<sub>2</sub>) 44% (Μαλεφάκης, 1999).

Βασική πηγή προέλευσης του πυριτίου στα νερά είναι τα πυριτικά ορυκτά όπως το επίδοτο [Ca<sub>2</sub>(FeAl)Al<sub>2</sub>(SiO<sub>4</sub>)(SiO<sub>7</sub>)O(OH)], ο μοσχοβίτης (H<sub>2</sub>KAl<sub>3</sub>Si<sub>3</sub>O<sub>12</sub>), ο αλβίτης (NaAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>), ο ανορθίτης (CaAl<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>8</sub>), το ορθόκλαστο ([SiO<sub>4</sub>· SiO<sub>2</sub>· SiO<sub>2</sub>]Al), το ολιγόκλαστο, ο ολιβίνης ((Mg, Fe)<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>) και ο χαλαζίας.

Η συγκέντρωση του Si ανέρχεται στα μαγματικά πετρώματα στα 285.000mg/kg, στους ψαμμίτες στα 359.000 mg/kg, στους αργίλους στα 260.000mg/kg, στα ανθρακικά πετρώματα στα 33.900 mg/kg και στους εβαπορίτες στα 386 mg/kg (Matthess, 1973).

Το διαλυόμενο πυρίτιο, στην υγρή μορφή παρατηρείται ως SiOH<sub>4</sub> και H<sub>4</sub>SiO<sub>4</sub> και κάποιες φορές σαν SiO<sub>2</sub>. Απ' τη στιγμή που ελευθερώνεται το H<sub>4</sub>SiO<sub>4</sub> στο έδαφος μπορεί και εκπλένεται με μεγάλη ευκολία και καταλήγει στον υδροφόρο με τιμές που κυμαίνονται από 5 έως 30 mg/l Si (Davis, 1964).

Το διοξείδιο του πυριτίου (SiO<sub>2</sub>) είναι αδιάλυτο σε pH μεταξύ 6 και 8,5. Μαζί με το μαγνήσιο δημιουργεί κρούστα στους λέβητες και τους αμμοστρόβιλους κι εμποδίζει το βράσιμο. Γενικά, στα φυσικά υπόγεια νερά απαντάται σε συγκεντρώσεις μικρότερες των 30 mg/l, σπάνια μέχρι 100 mg/l (Καλλέργης, 2000).

Το πυρίτιο είναι ένα ιχνοστοιχείο που απαντάται σε βιολογικά υλικά όπως το "silanate" (ένας αιθέρας που προέρχεται απ' το πυριτικό οξύ). Μεγάλο ποσοστό του πυριτίου που βρίσκεται στο ανθρώπινο σώμα βρίσκεται σε συνδετικούς ιστούς της αορτής, της τραχείας, των τενόντων, στα οστά και το δέρμα. Η ανεπάρκεια πυριτίου μπορεί να προκαλέσει μικρές, κακώς διαμορφωμένες αρθρώσεις κι ατελή ανάπτυξη των οστών. Τα μηρυκαστικά που τρέφονται με φυτά με υψηλή περιεκτικότητα σε πυρίτιο, μπορεί να αναπτύξουν πέτρα, ωστόσο, δεν έχει διαπιστωθεί τοξικός χαρακτήρας της υπερβολικής συγκέντρωσης πυριτίου για τον άνθρωπο ([www.tjelarkinc.com/minerals](http://www.tjelarkinc.com/minerals)).

Η μέση ημερήσια συνιστώμενη δόση πυριτίου στον άνθρωπο κυμαίνεται μεταξύ 2-5mg, ωστόσο, δεν προσροφάται όλο το πυρίτιο απ' τον οργανισμό κι έτσι η συνιστώμενη κατανάλωση μπορεί να ανέλθει στα 5-10mg/day.

Τα υπόγεια νερά της περιοχής παρουσιάζουν βάσει της λιθολογικής ταξινόμησης τους τις ακόλουθες τιμές συγκέντρωσης σε διοξείδιο του πυριτίου:

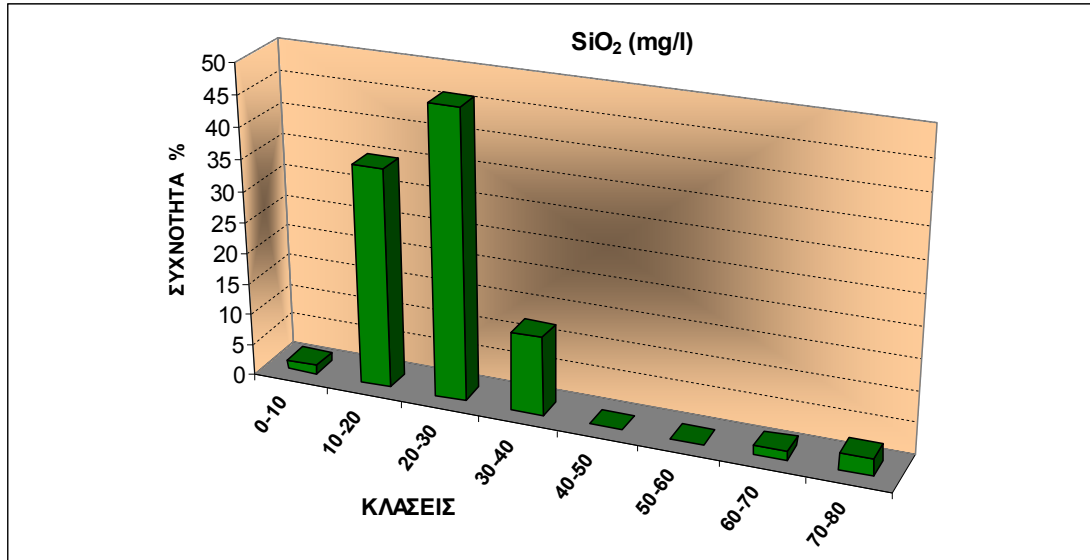
**α) νερά των τεταρτογενών σχηματισμών:** Οι συγκεντρώσεις διοξειδίου του πυριτίου στα ύδατα των τεταρτογενών σχηματισμών κυμαίνονται από 16,9 έως 32,6mg/l με μέσο όρο 22,97 mg/l.

**β) νερά των νεογενών σχηματισμών:** Στα υπόγεια νερά των νεογενών σχηματισμών οι συγκεντρώσεις SiO<sub>2</sub> παρουσιάζονται αυξημένες συγκριτικά με αυτές των τεταρτογενών και κυμαίνονται από 12,6 έως 73,5mg/l με μέσο όρο 25,08mg/l.

**γ) νερά των καρστικών ανθρακικών σχηματισμών:** Οι συγκεντρώσεις SiO<sub>2</sub> στα νερά των ανθρακικών σχηματισμών παρουσιάζουν το μέγιστο μέσο όρο στην περιοχή (25,23 mg/l) και το μεγαλύτερο εύρος τιμών, από 0,01 έως 70,5mg/l.

Από το ιστόγραμμα συχνότητας των συγκεντρώσεων SiO<sub>2</sub> (σχήμα 8.40) προκύπτει η κλάση με τη μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης (45%) είναι από 20-30 mg/l και ακολουθεί η κλάση από 10-20 mg/l με συχνότητα εμφάνισης (35%).

Όλες οι τιμές είναι γεωγενούς προέλευσης και σχετίζονται με φαινόμενα διάλυσης των αργιλικών ορυκτών, των ψαμμιτικών σχηματισμών και των οφιολιθικών πετρωμάτων. Εξαιρέση αποτελεί η τιμή 0,01 mg/l της πηγής Νο 3 που προέρχεται από τους ανθρακικούς σχηματισμούς του λόφου Περατή στη Βραυρώνα, και προφανώς δεν έρχεται σε επαφή με αργιλικά και ψαμμιτικά ορυκτά.



Σχήμα 8.40: Ιστόγραμμα συχνοτήτων συγκεντρώσεων SiO<sub>2</sub> στα νερά της περιοχής (σε mg/l)

Η χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων διοξειδίου του πυριτίου στα υπόγεια νερά της περιοχής έρευνας αποτυπώνεται στο σχήμα 8.41. Υψηλές συγκεντρώσεις παρατηρούνται στη Ραφήνα, τα Γλυκά Νερά και την Παιανία κι αποδίδονται στη διάλυση των αργιλικών ορυκτών, των ψαμμιτικών σχηματισμών και των οφιολιθικών πετρωμάτων.



Σχήμα 8.41: Χωρική κατανομή συγκεντρώσεων SiO<sub>2</sub> (mg/l)

### 8.4.3 Βαρέα Μέταλλα

Πολλά ιχνοστοιχεία είναι απαραίτητα στην ανθρώπινη διατροφή αλλά σε πολύ μικρές ποσότητες. Η υπέρβαση των μικρών αυτών ποσοτήτων μπορεί να αποβεί μοιραία για την ανθρώπινη υγεία. Η χαμηλή συγκέντρωση των βαρέων μετάλλων στα φυσικά νερά αποδίδεται στη γεωχημική τους κατανομή και τη δυσδιαλυτότητά τους.

Τα βαρέα μέταλλα θεωρούνται μείζον πρόβλημα καθόσον:

α) δεν αποικοδομούνται σε αντίθεση με τις τοξικές οργανικές ενώσεις κι έτσι συμβάλλουν στο φαινόμενο της βιοσυσώρευσης και βιομεγέθυνσης με όλες τις αρνητικές συνέπειες που μπορεί να έχουν για το περιβάλλον και τον άνθρωπο

β) είναι σχετικά ακίνητα στο έδαφος και

γ) συσσωρεύονται στο ανώτερο εδαφικό στρώμα με μεγάλες πιθανότητες απορρόφησής τους απ' τα φυτά και τελική κατάληξη την κατανάλωση απ' τον άνθρωπο ( [www.rce.rutgers.edu/pubs/pdfs/fs956.pdf](http://www.rce.rutgers.edu/pubs/pdfs/fs956.pdf)).

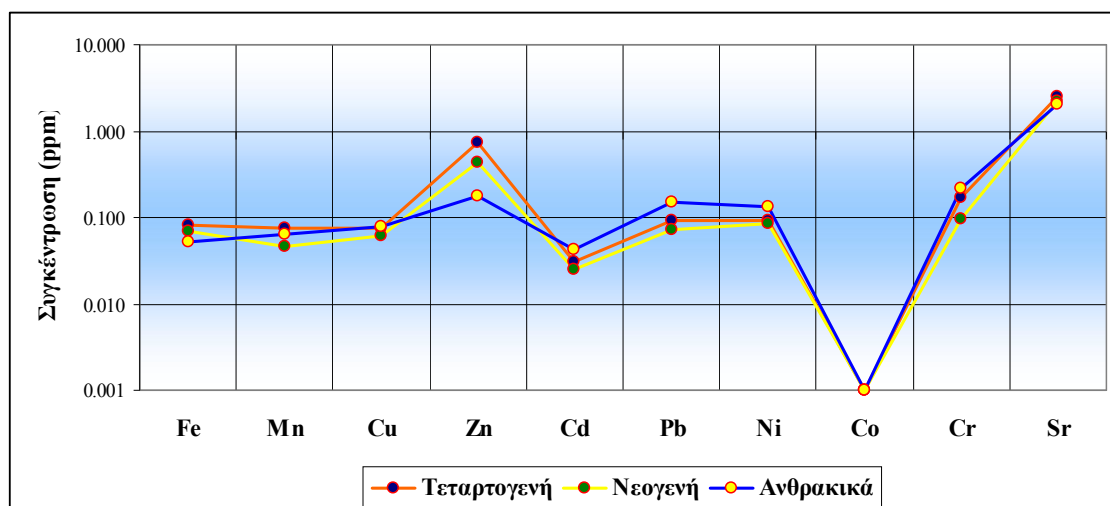
Η διαλυτότητα των βαρέων μετάλλων κι ιχνοστοιχείων και κατ' επέκταση η κινητικότητά τους κι η έκπλυσή τους εξαρτώνται από πολλές παραμέτρους όπως το pH, η I.A.K., η περιεκτικότητα σε ανθρακικό ασβέστιο, η οργανική ουσία, η γονιμότητα, το δυναμικό οξειδοαναγωγής και η υφή του εδάφους (Manahan, 1994). Σημαντικό ρόλο παίζουν κι εξωτερικοί παράγοντες όπως οι καιρικές συνθήκες, η προέλευση των ρυπαντικών στοιχείων και η σημειακή ή μη εκπομπή των ρύπων (Plant & Raiswell, 1983).

Στους πίνακες VIII, VIII και X του Παραρτήματος παρατίθενται οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων που προσδιορίστηκαν στα υπόγεια ύδατα της περιοχής που προέρχονται από τους τεταρτογενείς, τους νεογενείς και τους ανθρακικούς σχηματισμούς. Στον πίνακα 8.16 που ακολουθεί, παρουσιάζονται τα στατιστικά χαρακτηριστικά των συγκεντρώσεων των βαρέων μετάλλων που προσδιορίστηκαν στα υπόγεια νερά από τους διάφορους υδροφόρους σχηματισμούς της περιοχής.

**Πίνακας 8.16:** Στατιστικά στοιχεία των συγκεντρώσεων των βαρέων μετάλλων που προσδιορίστηκαν στα υπόγεια νερά των υδροφόρων σχηματισμών της περιοχής

Στοιχείο	Νερά Τεταρτογενών σχηματισμών (n:15)				Νερά Νεογενών σχηματισμών (n:50)				Νερά ανθρακικών σχηματισμών (n:20)			
	min	max	μ.ο.	stdv	min	max	μ.ο.	stdv	min	max	μ.ο.	stdv
Fe	0.000	0.203	0.083	0.077	0,000	0,271	0,070	0,084	0,000	0,236	0,053	0,073
Mn	0.001	0.392	0.074	0.098	0,000	0,154	0,046	0,048	0,000	0,120	0,063	0,044
Cu	0.004	0.162	0.075	0.061	0,003	0,149	0,061	0,054	0,003	0,139	0,078	0,042
Zn	0,023	4,978	0,732	1,340	0,004	8,683	0,425	1,263	0,010	0,897	0,180	0,211
Cd	0,000	0,065	0,031	0,027	0,000	0,076	0,025	0,027	0,000	0,071	0,042	0,026
Pb	0,001	0,250	0,094	0,090	0,000	0,374	0,071	0,103	0,000	0,434	0,151	0,131
Ni	0,000	0,275	0,091	0,104	0,000	0,331	0,085	0,100	0,000	0,297	0,132	0,103
Co	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,010	0,001	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000
Cr	0,000	0,641	0,169	0,229	0,000	0,702	0,097	0,183	0,000	0,612	0,216	0,219
Sr	0,522	5,343	2,453	1,373	0,270	6,180	2,179	1,277	0,392	7,240	2,042	1,723

Στο σχήμα 8.42 παρουσιάζονται οι μέσοι όροι των συγκεντρώσεων των βαρέων μετάλλων που προσδιορίζονται στα υπόγεια νερά των διαφόρων υδροφόρων σχηματισμών της περιοχής έρευνας. Τα νερά που φιλοξενούνται στους Νεογενείς σχηματισμούς παρουσιάζουν τις υψηλότερες συγκεντρώσεις στα περισσότερα στοιχεία. Μεταξύ των στοιχείων το Sr και ο Zn χαρακτηρίζονται από τις υψηλότερες συγκεντρώσεις, ενώ το Co παρουσιάζει γενικά τις χαμηλότερες τιμές συγκέντρωσης.



Σχήμα 8.42: Διάγραμμα κατανομής των μέσων όρων των συγκεντρώσεων των βαρέων μετάλλων.

Η παρουσία των βαρέων μετάλλων στα υπόγεια νερά της περιοχής σχετίζεται τόσο με γεωγενείς παράγοντες όσο και με ανθρώπινες δραστηριότητες. Στο δυτικό τμήμα της περιοχής εντοπίζονται σε περιορισμένη έκταση οι οφιολιθικές μάζες που είναι φορείς υψηλών συγκεντρώσεων χρωμίου. Οι σημειακές εμφανίσεις μεικτών θειούχων ορυκτών (Mixed Sulfides PBG) στη βάση των Κρητιδικών ασβεστόλιθων στην περιοχή μεταξύ Παιανίας και Κορωπίου καθώς επίσης οι κατά τόπους εμφανίσεις των σχιστόλιθων αποτελούν τους βασικούς τροφοδοτές των επιφανειακών και υπόγειων νερών της περιοχής σε βαρέα μέταλλα.

Σημαντική πηγή τροφοδοσίας των υπόγειων νερών της περιοχής σε βαρέα μέταλλα αποτελεί επίσης η οργανική ύλη που συνυπάρχει εντός των Νεογενών σχηματισμών. Η διάβρωση των οφιολιθικών μαζών, των μεταλλοφόρων σχηματισμών και η οξείδωση των θειούχων ορυκτών και η έκπλυση τους έχουν συμβάλει, τόσο στην επιβάρυνση των εδαφών της εν λόγω περιοχής σε βαρέα μέταλλα (Serelis et al., 2010), όσο και των υπόγειων νερών (Alexakis et al., 1998).

Επίσης η επιβάρυνσή τους μπορεί να αποδοθεί κατά ένα ποσοστό στην εφαρμογή φωσφορικών λιπασμάτων (Ross 1994, Kabata-Pendias and Mukherjee 2007), οργανικής ύλης και γεωργικών φαρμάκων, όπως είναι η υπέρμετρη χρήση του  $\text{CuSO}_4$  στην καλλιέργεια της αμπέλου (Stamatis et al., 2006). Επίσης η ανεξέλεγκτη διάθεση των αποβλήτων των μικρών βιοτεχνιών που βρίσκονται και δραστηριοποιούνται στην εν λόγω περιοχή προφανώς συμβάλλουν στην επιδείνωση του προβλήματος (Γιαννουλόπουλος και Γκιντώνη 2008, Kabata-Pendias and Pendias 1992).

#### 8.4.3.1 Ολικός Σίδηρος ( $\text{Fe}^{2+}$ και $\text{Fe}^{3+}$ )

Ο σίδηρος είναι το τέταρτο πιο άφθονο κατά βάρος στοιχείο που απαντάται στα πετρώματα και τα εδάφη του στερεού φλοιού της γης. Η περιεκτικότητα του σιδήρου στα διάφορα πετρώματα ανέρχεται στα μαγματικά στα 42.200mg/kg, στους αργίλους 38.800 mg/kg, στους ψαμμίτες 18.600 mg/kg, στα ανθρακικά 8.190 mg/kg και στους εβαπορίτες 265 mg/kg (Matthess, 1973). Βρίσκεται κυρίως στα σκουρόχρωμα ορυκτά, όπως στα πυρόξενα, αμφιβόλους, βιοτίτη, μαγνητίτη  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , σιδηροπυρίτη  $\text{FeS}_2$ , στους γρανάτες, ολιβίνες, στο επίδοτο κλπ.

Στα φυσικά νερά, οι συνήθεις συγκεντρώσεις στις οποίες απαντάται ο  $\text{Fe}^{2+}$  είναι 0-0,5 mmol/l, προερχόμενες από διάλυση πυριτικών πετρωμάτων, σιδηρίτων, υδροξειδίων και σουλφιδίων (Appelo-Postma, 1996). Ο σίδηρος είναι πιο ευδιάλυτος σε όξινα νερά με  $\text{pH} < 4$ , και αν ξεπεραστεί το όριο των 0,2 mg/l που θέτει η Ε.Ε. για τα πόσιμα



νερά, το νερό γίνεται ακατάλληλο όχι μόνο για πόση αλλά και για τις περισσότερες βιομηχανικές χρήσεις (Καλλέργης, 2000).

Ο σίδηρος στο θαλασσίνο νερό απαντάται με δύο μορφές, τη δισθενή και την τρισθενή και βρίσκεται στα 0,0034 mg/l. Στα φυσικά νερά απαντάται κυρίως στην δισθενή μορφή του και λιγότερο στην τρισθενή μορφή. Διαλυτές μορφές σιδήρου εμφανίζονται στα φυσικά νερά με χαμηλό pH. Σε ορισμένες περιπτώσεις τα υπόγεια φυσικά νερά, νερά λιμνών και βαλτώδη νερά στερούνται οξυγόνου και επομένως μπορούν να περιέχουν ιόντα  $Fe^{2+}$ . Όταν τα νερά αυτά οξυγονωθούν, ο δισθενής σίδηρος οξειδώνεται προς τρισθενείς ενώσεις και κατακρημνίζεται. Γενικά στα επιφανειακά νερά ο σίδηρος βρίσκεται στην τρισθενή μορφή του.

Στα καλά αεριζόμενα νερά παρουσιάζονται σπάνια υψηλές συγκεντρώσεις. Όταν όμως επικρατούν αναγωγικές συνθήκες καθώς και με απουσία ανθρακικών και θειούχων αλάτων, μπορούν να εμφανιστούν υψηλές συγκεντρώσεις ενώσεων δισθενούς σιδήρου. Η παρουσία του σιδήρου στα υπόγεια φυσικά νερά που σπάνια ξεπερνά τα 1 mg/l, αποδίδεται στην διάλυση των πετρωμάτων και μεταλλευμάτων που περιέχουν σίδηρο, σε επιφανειακές ανθρωπογενείς επιδράσεις κλπ.

Η κύρια πηγή μόλυνσης του πόσιμου νερού από τον σίδηρο, είναι η διάβρωση σιδήρου που απαιτεί πολύ μικρό ποσό οξυγόνου. Εξαιτίας αυτής της εύκολης διάβρωσης του σιδήρου, κατά την οποία ιόντα σιδήρου ελευθερώνονται στο νερό, αποφεύγεται η χρήση σιδηροσωλήνων στο δίκτυο παροχής πόσιμου νερού (Καλλέργης, 2000).

Ο σίδηρος είναι ένα απαραίτητο ιχνοστοιχείο για τον ανθρώπινο οργανισμό με βασική λειτουργία τη μεταφορά οξυγόνου και τη συμμετοχή στη δημιουργία πρωτεϊνών που μεταφέρουν οξυγόνο, όπως η αιμογλοβίνη στο αίμα κι η μυογλοβίνη στους μύες. Ο σίδηρος συγκεντρώνεται σε συγκεκριμένα όργανα του σώματος όπως στο μυελό των οστών, το ήπαρ και το σπυκώτι. Η συνιστώμενη δόση σιδήρου ανέρχεται σε 7-14 mg/day. Το μέγιστο ποσοστό του εισερχόμενου σιδήρου στον οργανισμό αποβάλλεται και μόνο περίπου 10% αφομοιώνεται. Ωστόσο, η υπερβολική κατανάλωση σιδήρου μπορεί να οδηγήσει στην ασθένεια της αιμοχρωμάτωσης, η οποία προσβάλλει 1 στους 300 Ευρωπαίους. Επίσης, εξετάζεται από επιστήμονες η υπόθεση να συνδέονται τα υψηλά αποθέματα σιδήρου με χρόνιες ασθένειες όπως ο καρκίνος κι η καρδιακή ανεπάρκεια ([www.tjclarkinc.com/minerals](http://www.tjclarkinc.com/minerals)). Η έλλειψη σιδήρου κάνει τον ανθρώπινο οργανισμό αδύναμο να παράγει νέα ερυθρά αιμοσφαίρια με συνέπεια τη δημιουργία σιδηροπενικής αναιμίας.

Συνήθως οι συγκεντρώσεις του σιδήρου στο πόσιμο νερό δεν ξεπερνούν τα 0,3 mg/l. Η ποσότητα αυτή είναι σημαντικά μικρότερη από την ποσότητα που προσλαμβάνουμε από τις τροφές μας. Το ανώτατο επιτρεπτό όριο παρουσίας του σιδήρου στο πόσιμο νερό είναι τα 0,2 mg/l=200 μg/l και σαν ενδεικτική τιμή είναι τα 0,05 mg/l=50 μg/l (Οδηγία 80/778/15-7-80 της ΕΕ).

Σε έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί σε διάφορες λεκάνες της Ελλάδος, οι οποίες αποτελούνται από Τεταρτογενείς και Νεογενείς σχηματισμούς, η παρουσία του σιδήρου στα υπόγεια νερά είναι χαρακτηριστική.

Στα υπόγεια νερά της λεκάνης Ασωπού οι συγκεντρώσεις κυμαίνονται κατά μέσο όρο στα 0,0002mg/l (Γαμβρουλά, 2009), 0,27 mg/l (Σουλάντζος, 2006), 0,25 mg/l (Ζαχαριάδης, 2005) και 0,062 mg/l (Τζαραμπάρης, 2010).

Στα υπόγεια νερά της λεκάνης Φαρσάλων και Νίκαιας-Λάρισας οι συγκεντρώσεις κυμαίνονται κατά μέσο όρο στα 0,08 mg/l (Stamatis et al., 2008, Stamatis et al., 2011).

Στα υπόγεια νερά της λεκάνης του Πύργου (Δ/κή Πελοπόννησος) οι συγκεντρώσεις κυμαίνονται στα 0,055 mg/l (Καραπάνος, 2008).

Στα υπόγεια νερά των Νεογενών λεκανών της Θράκης οι συγκεντρώσεις κυμαίνονται στα 0,41 mg/l (Παπαδοπούλου-Μουρκίδου, 2002).

Η πλειοψηφία των υδάτων της περιοχής χαρακτηρίζονται από συγκεντρώσεις ολικού σιδήρου που δεν ξεπερνούν το όριο των 0,2 mg/l της Ε.Ε. για τα πόσιμα νερά (σχήματα 8.45-8.91). Μόνο σε 3 πηγάδια οι τιμές ξεπερνούν κατά πολύ το όριο, μην υπερβαίνοντας ωστόσο τα 0,3 mg/l. Οι περισσότερες τιμές ανήκουν στη μηδενική κλάση και στην κλάση από 0 έως 0,05 mg/l (Σχ. 8.43). Ο μέσος όρος όλων των τιμών ανέρχεται στα 0,07 mg/l.

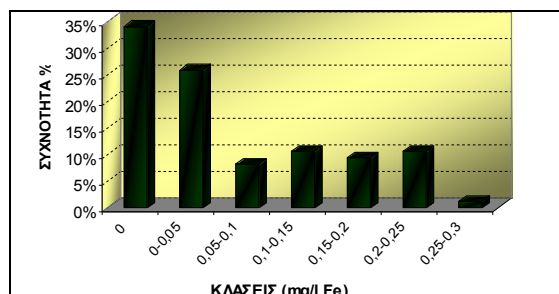
Τα υπόγεια νερά της περιοχής παρουσιάζουν βάσει της λιθολογικής ταξινόμησης τις ακόλουθες συγκεντρώσεις σιδήρου:

**α) νερά των τεταρτογενών σχηματισμών:** Οι συγκεντρώσεις σιδήρου στα ύδατα των τεταρτογενών σχηματισμών κυμαίνονται από 0 έως 0,203 mg/l με μέσο όρο 0,083 mg/l (Πίν. 8.16). Από το διάγραμμα των συγκεντρώσεων σιδήρου των τεταρτογενών σχηματισμών (Σχ. 8.44) παρατηρούνται μόνο τρία δείγματα να είναι κοντά στο ανώτατο όριο της Ε.Ε. για τα πόσιμα νερά.

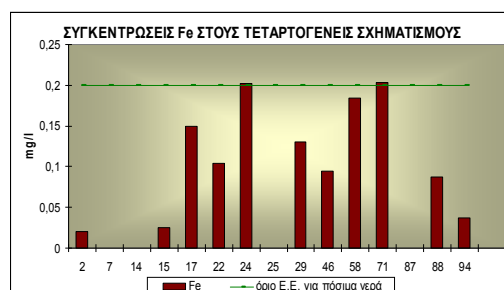
**β) νερά των νεογενών σχηματισμών:** Τα νερά των νεογενών σχηματισμών παρουσιάζουν παρεμφερείς συγκεντρώσεις σιδήρου με αυτές των τεταρτογενών και κυμαίνονται από 0-0,271 mg/l με μέσο όρο 0,053 mg/l (Πίν. 8.16). Δύο δείγματα ξεπερνούν το ανώτατο όριο της Ε.Ε. για τα πόσιμα νερά (Σχ. 8.45).

**γ) νερά των καρστικών ανθρακικών σχηματισμών:** Οι συγκεντρώσεις σιδήρου στα νερά των ανθρακικών σχηματισμών παρουσιάζουν το μικρότερο μέσο όρο 0,053 mg/l και κυμαίνονται από 0 έως 0,236 mg/l (Πίν. 8.16 – σχήμα 8.46).

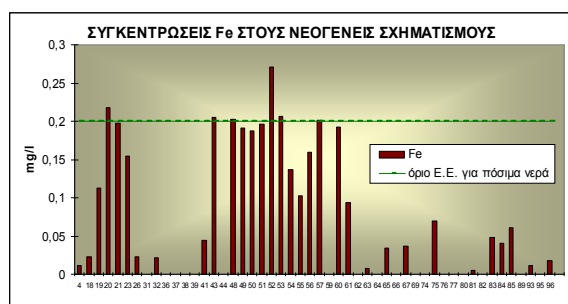
Σε προηγούμενες έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί στα υπόγεια νερά της λεκάνης των Μεσογείων οι συγκεντρώσεις κυμαίνονται κατά μέσο όρο στα 0,11mg/l στους ανθρακικούς σχηματισμούς και 1,88mg/l στους νεογενείς σχηματισμούς (Stamatis et al., 2006) ενώ σύμφωνα με τις εργασίες των Γιαννουλόπουλου και Γκιντώνη (2008), της Χαμπίδη (2005) και των Alexakis and Kelepertzis (1998) οι συγκεντρώσεις είναι εντός των ορίων ποσιμότητας και δεν ξεπερνούν τα 0,17mg/l.



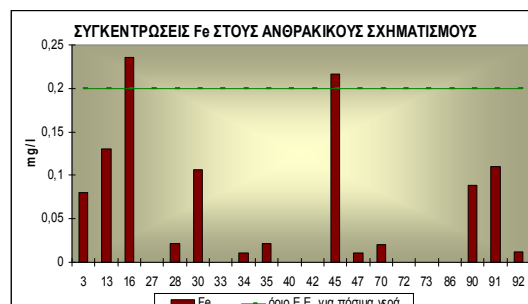
Σχήμα 8.43: Ιστογράμμο συγκεντρώσεων ολικού Fe στα υπόγεια νερά



Σχήμα 8.44: Διάγραμμα συγκεντρώσεων ολικού Fe στα ύδατα των τεταρτογενών σχηματισμών συγκριτικά με το ανώτατο όριο της Ε.Ε. για τα πόσιμα νερά (0,2 mg/l)



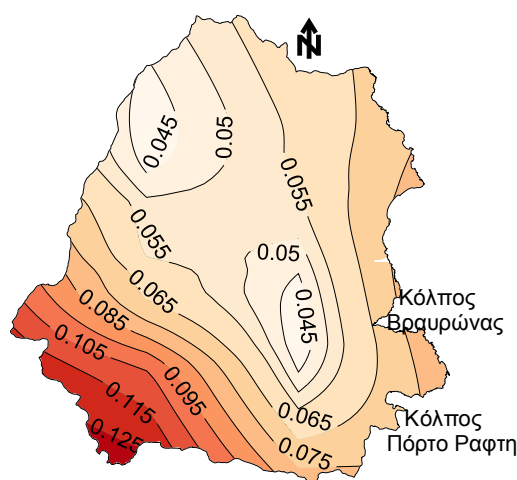
Σχήμα 8.45: Διάγραμμα συγκεντρώσεων ολικού Fe στα ύδατα των νεογενών σχηματισμών συγκριτικά με το ανώτατο όριο της Ε.Ε. για τα πόσιμα νερά (0,2 mg/l)



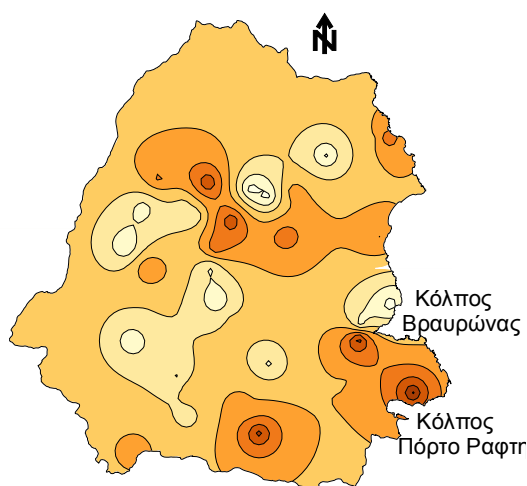
Σχήμα 8.46: Διάγραμμα συγκεντρώσεων ολικού Fe στα ύδατα των ανθρακικών σχηματισμών συγκριτικά με το ανώτατο όριο της Ε.Ε. για τα πόσιμα νερά (0,2 mg/l)

Οι συγκεντρώσεις του σιδήρου στα υπόγεια νερά της περιοχής είναι κυρίως γεωγενούς προέλευσης. Ο σίδηρος συνυπάρχει σχεδόν σε όλους τους σχηματισμούς και ελευθερώνεται κατά την διάβρωση τους. Οι υψηλές ολικές συγκεντρώσεις σιδήρου στα εδάφη (κεφ. 7.9) επιβεβαιώνουν αυτήν την άποψη.

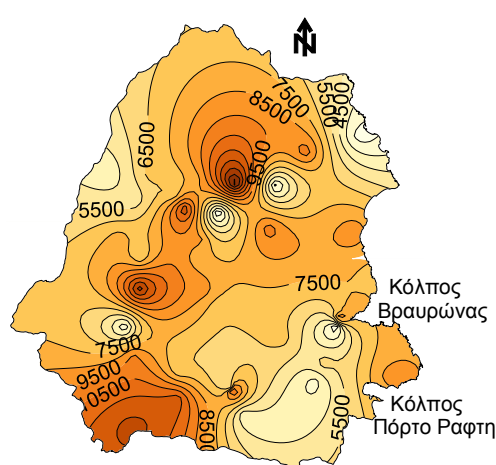
Κατά ένα μικρό ποσοστό, η παρουσία του σιδήρου στα υπόγεια νερά αποδίδεται σε υπολείμματα από τη χρήση αγροχημικών, όπως προσθήκη οργανικής ουσίας και όξινων λιπασμάτων (Zonn, 1982). Επίσης σε διείσδυση της θάλασσας στον παράκτιο υδροφόρο. Στα θαλασσινά ιζήματα του κόλπου Σχινιάς – Ραφήνα - Άρτεμις μετρήθηκε μέσος όρος συγκέντρωσης ολικού σιδήρου 140 mg/l (Ταγματάρχη, 2000). Δεν αποκλείεται κι η προέλευση αυτού από πεπαλαιωμένους σωλήνες (Siegel, 2002) λόγω της εύκολης διάβρωσης του σιδήρου παρουσία ελάχιστου ποσού οξυγόνου (Καλλέργης, 2000).



**Σχήμα 8.47:** Χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων του Fe των υπόγειων νερών (mg/l)



**Σχήμα 8.48:** Χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων του Fe της υδατοδιαλυτής φάσεως των εδαφικών δειγμάτων (mg/l)



**Σχήμα 8.49:** Χωρική κατανομή των δεσμευμένων μορφών Fe στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών (mg/l)

Στα σχήματα 8.47, 8.48 και 8.49 παρουσιάζεται η χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων του Fe των υπόγειων νερών, της υδατοδιαλυτής φάσεως των εδαφικών δειγμάτων και της φάσης των δεσμευμένων μορφών Fe στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών της περιοχής αντίστοιχα. Από την σύγκριση της χωρικής κατανομής των συγκεντρώσεων του Fe στα υπόγεια νερά με αυτή της υδατοδιαλυτής φάσεως των εδαφών διαπιστώνεται μια τελείως διαφορετική εικόνα. Η απόκλιση των δύο χωρικών

κατανομών επιβεβαιώνει την γεωγενή προέλευση του σιδήρου στα υπόγεια νερά. Η χωρική κατανομή των δεσμευμένων μορφών σιδήρου στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών (σχήμα 8.49) παρουσιάζει ομοιότητες με αυτήν των υδάτων όσον αφορά την αυξητική τάση προς το νοτιοδυτικό τμήμα όπου παρατηρούνται σημειακές εμφανίσεις οξειδίων, οφιολιθικά πετρώματα, σχιστόλιθοι και αργιλούχα εδάφη (Κατσιαβριάς, 2007). Στην περιοχή του Κορωπίου έχει διαπιστωθεί και από παλαιότερες έρευνες η επιβάρυνση των υπόγειων υδάτων της περιοχής σε βαρέα μέταλλα (ΥΠΕΧΩΔΕ, 2005). Η αυξητική τάση των συγκεντρώσεων του Fe των υπόγειων νερών στην παράκτια ζώνη αποδίδεται κυρίως στην επίδραση της θαλάσσιας διείσδυσης της οποίας η συγκέντρωση των ιζημάτων σε ολικό σίδηρο μετρήθηκε κατά μέσο όρο στα 140 mg/l (Ταγματάρχη, 2000).

#### **8.4.3.2 Μαγγάνιο (Mn)**

Το μαγγάνιο έχει ευρεία κατανομή στον στερεό φλοιό της γης και απαντάται σε μικρές σχετικά συγκεντρώσεις, όπως στα μαγματικά πετρώματα με 937 mg/kg, στα ιζήματα όπως στους αργίλους με 575 mg/kg, στους ψαμμίτες με 392 mg/kg, στα ανθρακικά με 842 mg/kg, στους εβαπορίτες με 4,4 mg/kg και στην άμμο 20-500 mg/kg Mn. Οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις απαντώνται στους βασάλτες και τους γάββρους. Το θαλασσινό νερό περιέχει 0,0004 mg/l. Στους μαγματίτες το μαγγάνιο βρίσκεται στην δισθενή μορφή, ενώ στα εδάφη και στα ιζήματα απαντώνται οξειδία και υδροξείδια στη δισθενή, τρισθενή και τετρασθενή μορφή. Το Mn εξορύσσεται σε μεγάλες ποσότητες και βρίσκει σημαντικές εφαρμογές στον ατσάλινο εξοπλισμό των μηχανών και τις ηλεκτρικές μπαταρίες.

Η διάλυση και η παρουσία του στοιχείου αυτού εξαρτάται από το pH και το Eh. Στην περίπτωση των υπόγειων νερών με υψηλές συγκεντρώσεις οξυγόνου και τιμή pH=7, το μαγγάνιο βρίσκεται στη δισθενή μορφή σε συγκεντρώσεις από 1-10 mg/l. Υψηλές συγκεντρώσεις εμφανίζονται στα θερμομεταλλικά νερά, μέχρι 42 mg/l, στα νερά κοιτασμάτων υδρογονανθράκων μέχρι 30 mg/l (Matthess 1973). Γενικά οι συγκεντρώσεις του μαγγανίου στα υπόγεια νερά βρίσκονται σε χαμηλότερα επίπεδα σε σύγκριση με αυτές του σιδήρου. Αυτό σχετίζεται με την γεωχημική κατανομή και ιδιαίτερα με την διαλυτότητα. Οι υψηλές συγκεντρώσεις που έχουν κατά τόπους ανιχνευθεί στα υπόγεια και επιφανειακά νερά σχετίζονται κυρίως με ανθρώπινες δραστηριότητες (Καλλέργης, 2000).

Το Mn είναι ένα απαραίτητο ιχνοστοιχείο τόσο στην ανάπτυξη του ανθρώπου όσο και στην ανάπτυξη των φυτών. Σε μεγάλες συγκεντρώσεις παρουσιάζει τοξικότητα για αυτό κι η Ε.Ε. το συγκαταλέγει στις ανεπιθύμητες ουσίες. Συγκριτικά με άλλα βαρέα μέταλλα, οι υπερβολικές συγκεντρώσεις Mn όπως και του Co δεν αποτελούν μεγάλο πρόβλημα. Στον ανθρώπινο οργανισμό το μαγγάνιο διασπά τα αμινοξέα για την παραγωγή ενέργειας απαραίτητης για το μεταβολισμό της βιταμίνης B1 και της βιταμίνης E, παίζει καταλυτικό ρόλο στη διάσπαση των λιπών και της χοληστερίνης, βοηθά στην καταπράυνση των νεύρων και του εγκεφάλου και θεωρείται απαραίτητο στην ανάπτυξη των οστών.

Η μέση συνιστώμενη δόση είναι 2-5 mg/day για ενήλικες αλλά μια διατροφή βασισμένη σε λαχανικά ξεπερνά αυτά τα όρια αγγίζοντας τα 10-18 mg ημερησίως. Η ανεπάρκεια μαγγανίου προκαλεί ανωμαλίες στη λειτουργία του εγκεφάλου και στην ανάπτυξη των οστών, ενώ σε ακραίες περιπτώσεις μπορεί να οδηγήσει σε οστεοπόρωση, κώφωση, παράλυση και πεπτικά προβλήματα. Η υπερβολική λήψη Mn δεν οφείλεται τόσο στη διατροφή όσο σε έκθεση σε βιομηχανικά απόβλητα (για παράδειγμα εισπνοή σκόνης Mn από μεταλλωρύχους) ή από κατανάλωση ρυπασμένου νερού πηγής. Τα συμπτώματα της τοξικότητας του Mn αφορούν νευρικές διαταραχές και πρόκληση σχιζοφρένειας ([www.tjelarkinc.com/minerals](http://www.tjelarkinc.com/minerals)).

Το μαγγάνιο είναι σημαντικό στοιχείο των φυτών και βρίσκεται στην οργανική ύλη σε υψηλές συγκεντρώσεις. Οι μικροοργανισμοί αναλαμβάνουν τον καταλυτικό ρόλο κατά την διάλυση της οργανικής ύλης, συμβάλλοντας στην οξείδωση και αναγωγή του μαγγανίου. Στα υπόγεια φυσικά νερά οι συγκεντρώσεις του μαγγανίου είναι πολύ χαμηλές, συνήθως σε ίχνη <0,05 mg/l και γενικά δεν ξεπερνούν τα 0,2mg/l. Η ΕΕ καθορίζει σαν ενδεικτικό επίπεδο παρουσίας του στο πόσιμο νερό τα 20 µg/l, ενώ σαν ανώτατη παραδεκτή συγκέντρωση τα 50 µg/l.

Σε έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί σε διάφορες λεκάνες της Ελλάδος, οι οποίες αποτελούνται από Τεταρτογενείς και Νεογενείς σχηματισμούς, η παρουσία του μαγγανίου στα υπόγεια νερά είναι χαρακτηριστική.

Στα υπόγεια νερά της λεκάνης Ασωπού οι συγκεντρώσεις κυμαίνονται κατά μέσο όρο στα 0,013mg/l (Γαμβρουλά, 2009), 0,022 mg/l (Σουλάντζος, 2006), 0,02 mg/l (Ζαχαριάδης, 2005) και 0,088 mg/l (Τζαραμπάρης, 2010).

Στα υπόγεια νερά της λεκάνης Φαρσάλων και Νίκαιας-Λάρισας οι συγκεντρώσεις κυμαίνονται κατά μέσο όρο στα 0,03 mg/l (Stamatis et al. 2008, Stamatis et al. 2011).

Στα υπόγεια νερά της λεκάνης του Πύργου (Δ/κή Πελοπόννησος) οι συγκεντρώσεις κυμαίνονται στα 0,24 mg/l (Καραπάνος, 2008).

Στα υπόγεια νερά των Νεογενών λεκανών της Θράκης οι συγκεντρώσεις κυμαίνονται στα 0,094 mg/l (Παπαδοπούλου-Μουρκίδου, 2002).

Οι συγκεντρώσεις μαγγανίου είναι σχετικά υψηλές στα δείγματα των υδάτων της περιοχής (σχήματα 8.51-8.53) και με εξαίρεση την ιδιαίτερα υψηλή τιμή του πηγαδιού Νο 45 (27,82 mg/l), η πλειοψηφία των τιμών κυμαίνεται μεταξύ 0,06 και 0,15 mg/l. Η κλάση με τη μεγαλύτερη συχνότητα ξεπερνά το όριο των πόσιμων νερών και είναι μεταξύ 0,05 και 0,1 mg/l (σχήμα 8.50). Ο μέσος όρος όλων των συγκεντρώσεων μαγγανίου ανέρχεται στα 0,06 mg/l.

Τα υπόγεια νερά της περιοχής παρουσιάζουν βάσει της λιθολογικής ταξινόμησης τις ακόλουθες συγκεντρώσεις μαγγανίου:

**α) νερά των τεταρτογενών σχηματισμών:** Οι συγκεντρώσεις μαγγανίου στα ύδατα των τεταρτογενών σχηματισμών κυμαίνονται από 0,01 έως 0,392 mg/l με μέσο όρο 0,074 mg/l. Πάνω απ' το 50% των υδάτων ξεπερνούν το ανώτατο όριο της Ε.Ε. για τα πόσιμα νερά (σχήμα 8.51).

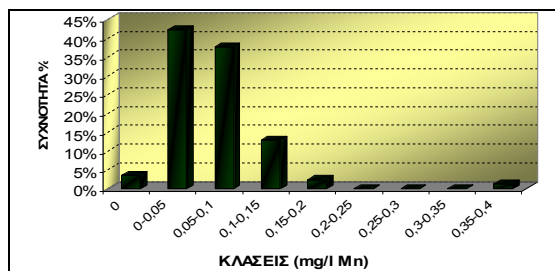
**β) νερά των νεογενών σχηματισμών:** Τα νερά των νεογενών σχηματισμών παρουσιάζουν μικρότερες συγκεντρώσεις μαγγανίου συγκριτικά με αυτές των τεταρτογενών που κυμαίνονται από 0-0,154 mg/l με μέσο όρο 0,046mg/l. Δύο δείγματα ξεπερνούν το ανώτατο όριο της Ε.Ε. για τα πόσιμα νερά (σχήμα 8.52).

**γ) νερά των καρστικών ανθρακικών σχηματισμών:** Οι συγκεντρώσεις μαγγανίου των υδάτων των ανθρακικών σχηματισμών παρουσιάζουν το μικρότερο εύρος τιμών, από 0 έως 0,12 mg/l και μέσο όρο 0,063 mg/l (σχήμα 8.53).

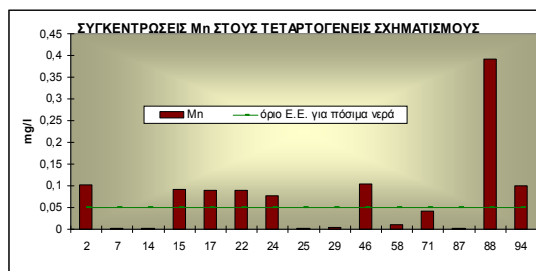
Σε προγενέστερη έρευνα της περιοχής Μεσογείων (Stamatis et al., 2006) οι συγκεντρώσεις μαγγανίου παρατηρήθηκαν κατά μέσο όρο στους νεογενείς σχηματισμούς στα 0,11 mg/l ενώ στους ανθρακικούς στα 0,0056 mg/l. Στην έρευνα των Γιαννουλόπουλου και Γκιντώνη (2008) οι συγκεντρώσεις μαγγανίου βρέθηκαν εντός των ορίων ποσιμότητας της Ε.Ε. (<0,02 mg/l) ενώ στις Χαμπίδη (2005) οι τιμές κυμαίνονται μεταξύ 0,013 και 0,038 mg/l.

Οι υψηλές συγκεντρώσεις μαγγανίου στα υπόγεια ύδατα της περιοχής σχετίζονται κυρίως με την γεωχημική κατανομή. Στους ανθρακικούς σχηματισμούς που αναπτύσσονται στην περιοχή είναι χαρακτηριστική η παρουσία του μαγγανίου που εμφανίζεται στις επιφάνειες των ασβεστολιθικών πλακών με την μορφή οξειδίων μαγγανίου τους ονομαζόμενους *δενδρίτες μαγγανίου*. Η παρουσία μαγγανιούχων ορυκτών είναι έντονη τόσο στα μεταμορφωμένα πετρώματα όσο και στους Νεογενείς

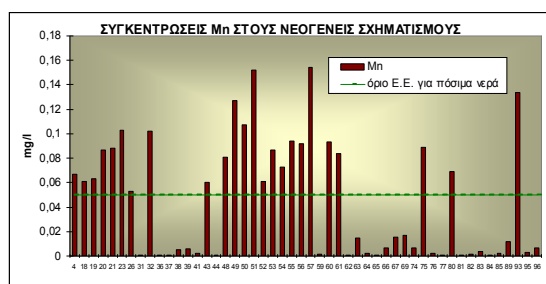
σχηματισμούς που έχουν προκύψει από την διάβρωση των συμπαγών σχηματισμών που δομούν την εν λόγω λεκάνη.



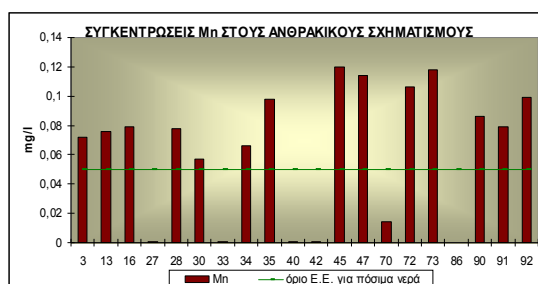
**Σχήμα 8.50:** Ιστόγραμμα συγκεντρώσεων Mn στα υπόγεια νερά



**Σχήμα 8.51:** Διάγραμμα των συγκεντρώσεων μαγγανίου στα ύδατα των τεταρτογενών σχηματισμών συγκριτικά με το ανώτατο επιτρεπτό όριο της Ε.Ε. για τα πόσιμα νερά (0,05 mg/l).



**Σχήμα 8.52:** Διάγραμμα των συγκεντρώσεων μαγγανίου στα ύδατα των νεογενών σχηματισμών συγκριτικά με το ανώτατο επιτρεπτό όριο της Ε.Ε. για τα πόσιμα νερά (0,05 mg/l).



**Σχήμα 8.53:** Διάγραμμα των συγκεντρώσεων Μαγγανίου στα ύδατα των ανθρακικών σχηματισμών συγκριτικά με το ανώτατο επιτρεπτό όριο της Ε.Ε. για τα πόσιμα νερά (0,05 mg/l).

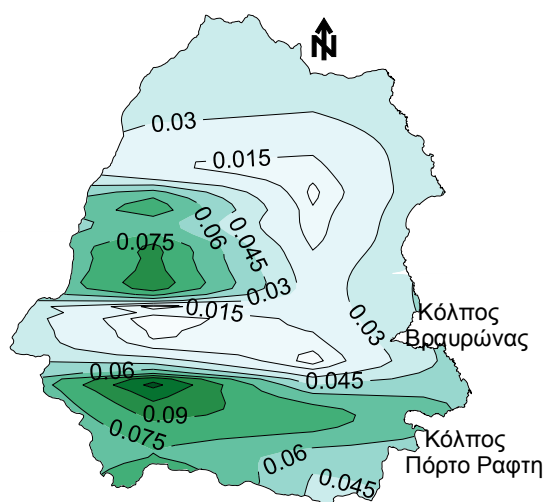
Ιδιαίτερη σημασία έχει η παρουσία της οργανικής ύλης (λιγνίτες) που εντοπίζεται εντός των Νεογενών σχηματισμών, η οποία είναι πλούσια σε μαγγάνιο και σε πολλά άλλα βαρέα μέταλλα, όπως έχουν δείξει έρευνες σε λιγνίτες των διαφόρων περιοχών της Ελλάδος (Kalaitzidis et al. 2006, Kastanaki and Vamvuka 2006, Foscolos et al. 1989, Foscolos et al. 1998, Παπανικολάου και Κώτης 2011). Οι συγκεντρώσεις μαγγανίου της τέφρας των λιγνιτών του Αμυνταίου (Πτολεμαΐδα) κυμαίνονται μεταξύ 304 και 1.172ppm, της Μεγαλόπολης μεταξύ 319 και 531ppm, της Φλώρινας μεταξύ 611 και 2.206ppm, της Δράμας μεταξύ 168 και 1.273ppm και των Ιωαννίνων μεταξύ 881 και 1.284ppm (Foscolos et al. 1989, Foscolos et al. 1998).

Ανθρωπογενείς παράγοντες όπως είναι η εφαρμογή φωσφορικών λιπασμάτων (Kabata-Pendias and Pendias 1992, Mielke et al. 2002, Siegel 2002) και τα λύματα προερχόμενα από μεταλλουργίες, χρώματα (Siegel, 2002) και γενικότερα αστικά λύματα (Kabata-Pendias and Pendias 1992, Mielke et al. 2002) μπορεί να δρουν αθροιστικά στην εμφάνιση των συγκεντρώσεων μαγγανίου στα υπόγεια νερά της περιοχής.

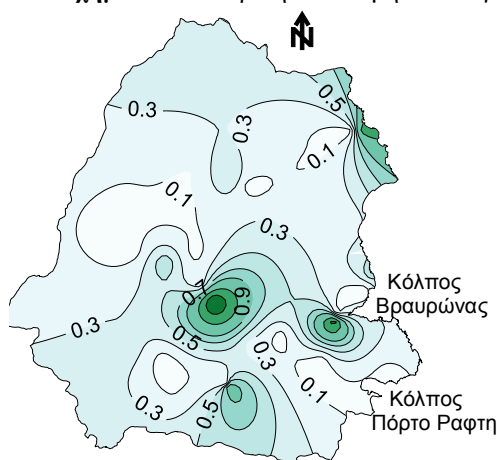
Στα σχήματα 8.54, 8.55 και 8.56 παρουσιάζεται η χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων Mn των υπόγειων νερών, της υδατοδιαλυτής φάσεως των εδαφικών δειγμάτων και της φάσης των δεσμευμένων μορφών Mn στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών της περιοχής αντίστοιχα. Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις στα υπόγεια νερά κατανέμονται στο δυτικό και νότιο τμήμα, ενώ αντίθετα οι χαμηλότερες τιμές εντοπίζονται στα κεντρικά, ανατολικά και βόρεια τμήματα της περιοχής. Η κατανομή του μαγγανίου είναι σχεδόν συγκρίσιμη με αυτή του σιδήρου (Σχ.8.47) και αποδίδεται σε γεωγενείς κυρίως παράγοντες.



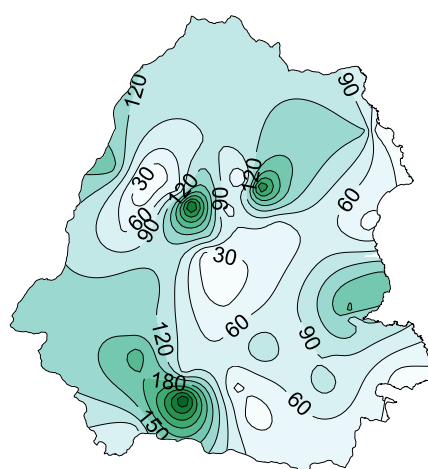
Από την σύγκριση της χωρικής κατανομής των συγκεντρώσεων του Mn στα υπόγεια νερά με την χωρική κατανομή του Mn που προσδιορίζεται στα εδάφη της περιοχής στην υδατοδιαλυτή φάση διαπιστώνεται απόκλιση μεταξύ τους. Απόλυτη ταύτιση της χωρικής κατανομής του Mn διαπιστώνεται στα βόρεια τμήματα της περιοχής όπου εμφανίζονται οι χαμηλότερες συγκεντρώσεις. Η χωρική κατανομή των δεσμευμένων μορφών μαγγανίου στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών (σχήμα 8.56) παρουσιάζει ομοιότητες με την αντίστοιχη των υδάτων με αυξητική τάση προς το δυτικό τμήμα όπου εμφανίζονται τα οφιολιθικά σώματα και τα μικτά θειούχα ορυκτά (Κατσιαβριάς, 2007).



Σχήμα 8.54: Χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων του Mn των υπόγειων νερών (mg/l)



Σχήμα 8.55: Χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων του Mn της υδατοδιαλυτής φάσεως των εδαφικών δειγμάτων (mg/l)



Σχήμα 8.56: Χωρική κατανομή των δεσμευμένων μορφών Mn στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών (mg/l)

#### 8.4.3.3 Χαλκός(Cu)

Ο χαλκός, αν και ανήκει στα βαρέα μέταλλα, είναι απ' τα απαραίτητα στοιχεία για τα φυτά και τα ζώα. Στη μεταλλική του μορφή είναι κοκκινόχρωμος και καλός αγωγός της θερμότητας και του ηλεκτρισμού, γι αυτό και έχει ευρεία βιομηχανική χρήση. Είναι το πιο δυσκίνητο ιχνοστοιχείο στο έδαφος καθώς προσροφάται κι ακινητοποιείται στο έδαφος (Alloway,1995). Εμπεριέχεται σε μεγάλο αριθμό ορυκτών, μικτών θειούχων, οξειδίων και υδροξυλιούχων ανθρακικών. Τα πιο γνωστά ορυκτά είναι ο κυπρίτης ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ), ο χαλκοσίνης ( $\text{Cu}_2\text{S}$ ), ο μαλαχίτης ( $\text{CuCO}_3$ ) $\text{Cu}(\text{OH})_2$  κλπ. Σύμφωνα με τον Matthes (1973) ο χαλκός βρίσκεται στα μαγματικά πετρώματα με συγκεντρώσεις 97,4



mg/kg, στους ψαμμίτες με 15,4 mg/kg, στους αργίλους με 44,7 mg/kg, στα ανθρακικά πετρώματα με 4,5 mg/kg και στους εβαπορίτες με 2,0 mg/kg. Το εύρος της συγκέντρωσης του χαλκού στα κυριότερα πετρώματα παρουσιάζεται στον πίνακα 8.17 ενώ η περιεκτικότητα του χαλκού στα διάφορα λιπάσματα, σε συνδυασμό με την πηγή και τη διαλυτότητά τους παρουσιάζεται στον πίνακα 8.18.

**Πίνακας 8.17:** Η συμμετοχή του χαλκού (mg/kg) στα κυριότερα πετρώματα (Alloway, 1995)

Πέτρωμα	εύρος	μέσος όρος
βασάλτες	30 - 160	90
γρανίτες	4 - 30	15
σχιστόλιθοι	30 - 150	50
ηφαιστειακά	5 - 20	
ασβεστόλιθοι	5 - 20	
χαλαζίας	5 - 20	

Υψηλές συγκεντρώσεις χαλκού στον επιφανειακό ορίζοντα μαρτυρούν προσθήκη αυτού από λιπάσματα, χυτήρια, απόβλητα, κοπριά κλπ. Η γεωργία συντελεί σημαντικά στην αύξηση των συγκεντρώσεων χαλκού στο έδαφος. Η πιο συνήθης μορφή λιπασμάτων είναι ο ένυδρος θειικός χαλκός ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) αν και πολλά άλλα μίγματα χρησιμοποιούνται. Ο ένυδρος θειικός χαλκός είναι συμβατός με τα περισσότερα λιπάσματα (Alloway, 1995). Οι μορφές των χαλκούχων λιπασμάτων που εφαρμόζονται στη γεωργία είναι:

**Πίνακας 8.18:** Πηγές Cu στα χρησιμοποιούμενα λιπάσματα (Netzer & Beszedits, 1979)

ΠΗΓΗ	%Cu	Διαλυτότητα στο νερό	ΠΗΓΗ	%Cu	Διαλυτότητα στο νερό
Cu	100	αδιάλυτο	$\text{CuSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	35	διαλυτό
$\text{Cu}_2\text{O}$	89	αδιάλυτο	$\text{CuSO}_4 \cdot 3\text{Cu}(\text{OH})_2$	13-53	αδιάλυτο
$\text{CuO}$	75	αδιάλυτο	$\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$		διαλυτό
$\text{CuS}$	66	αδιάλυτο	$\text{Cu}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	32	αδιάλυτο
$\text{Cu}_2\text{S}$	80	αδιάλυτο	$\text{CuC}_2\text{O}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$	40	αδιάλυτο
$\text{SuFeS}_2$	35	αδιάλυτο	$\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{CuO} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	52	αδιάλυτο
$\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$	57	αδιάλυτο	$\text{Cu}(\text{NH}_4)\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	32	αδιάλυτο
$2\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$	55	αδιάλυτο	$\text{Na}_2\text{Cu EDTA}$	13	διαλυτό
$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	25	διαλυτό	$\text{NaCu HEDTA}$	9	διαλυτό

Η παρουσία του χαλκού στο νερό εξαρτάται από το pH και το Eh. Στα υπόγεια φυσικά νερά η συγκέντρωση του χαλκού βρίσκεται πολύ κάτω του 1,0 mg/l. Στο πόσιμο νερό οι συγκεντρώσεις κυμαίνονται μεταξύ 0,01-0,5 mg/l με ανώτατο επιτρεπτό όριο απ' την Ε.Ε. 0,10 mg/l. Η EPA (Environmental Pollution Agency) δίνει πιο ελαστικές τιμές με ενδεικτική τιμή 1,3 mg/l. Στο νερό ύδρευσης παρατηρούνται συχνά υψηλές συγκεντρώσεις χαλκού (1,2 mg/l) λόγω της διάβρωσης των χρησιμοποιούμενων χαλκοσωλήνων. Στο θαλασσινό νερό η συγκέντρωση ανέρχεται σε 0,0009 mg/l (Matthess, 1973). Στα θερμομεταλλικά νερά και σε μεταλλοφόρες περιοχές παρατηρούνται συγκεντρώσεις μέχρι 2,0 mg/l, σε πετρελαιοφόρες περιοχές οι τιμές φθάνουν τα 3,5 mg/l και στα όξινα νερά των ορυχείων απαντώνται τιμές μέχρι και 45,6 mg/l.

Ο χαλκός είναι ένα απαραίτητο ιχνοστοιχείο τόσο στην ανθρώπινη διατροφή όσο και στην ανάπτυξη των φυτών και των ζώων. Θεωρείται ότι αποτελεί μέρος των ενζύμων και των πρωτεϊνών που βοηθούν τις βιοχημικές μετατροπές σε κάθε κύτταρο. Το μέσο επίπεδο συγκέντρωσης χαλκού στο ανθρώπινο σώμα κυμαίνεται μεταξύ 50 – 120 mg με τη μέγιστη ποσότητα να βρίσκεται στο ήπαρ. Η μέση συνιστώμενη δόση για τον άνθρωπο είναι 1,5-3,0 mg Cu/day. Η ανεπάρκεια χαλκού προκαλεί αναιμία, υψηλά

επίπεδα χοληστερίνης, τριγλυκεριδίων και γλυκόζης, μείωση του οξυγόνου των κυττάρων, δερματικά προβλήματα και πρήξιμο στα πόδια. Η χρόνια ανεπάρκεια χαλκού μπορεί να προκαλέσει καρδιακά προβλήματα. Αντίθετα, η πρόσληψη υπερβολικών ποσοτήτων Cu θεωρείται τοξική κι ιδιαίτερα επικίνδυνη και χρειάζεται περίπου 3 μήνες για να επανέλθουν τα επίπεδα χαλκού στο σώμα στα φυσιολογικά επίπεδα. Τα συμπτώματα της υπερβολικής λήψης Cu είναι βλάβη στο συκώτι και τον εγκέφαλο, όργανα στα οποία υπερσυσσωρεύεται, ναυτία, πονοκέφαλοι, αυξημένοι χτύποι καρδιάς, βλάβη στα νεφρά, αναιμία, τριχόπτωση στις γυναίκες. Τα ψυχολογικά συμπτώματα είναι αυτά του αυτισμού, της κατάθλιψης, των παραισθήσεων, της υπερδραστηριότητας, της αϋπνίας, της παράνοιας, της ψύχωσης, της σχιζοφρένειας, υπερδιέγερση και απόσπαση απ' την πραγματικότητα. Η υπερβολική λήψη Cu απ' τον άνθρωπο μπορεί να οφείλεται σε μεγάλη ποσότητα οιστρογόνων από κατανάλωση κρέατος, αντισυλληπτικά χάπια, κάπνισμα, υπερβολική ποσότητα Cu στο πόσιμο νερό, χαμηλά επίπεδα Zn και Mn ([www.tjclarkinc.com/minerals](http://www.tjclarkinc.com/minerals)).

Σε έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί στα υπόγεια ύδατα διαφόρων περιοχών της Ελλάδος, οι οποίες αποτελούνται από Τεταρτογενείς και Νεογενείς σχηματισμούς, η παρουσία του χαλκού στα υπόγεια νερά είναι χαρακτηριστική, χωρίς όμως να ξεπερνά το όριο ποσιμότητας της Ε.Ε (0,1mg/l).

Στα υπόγεια νερά της λεκάνης Ασωπού οι συγκεντρώσεις κυμαίνονται κατά μέσο όρο στα 0,0029mg/l (Γαμβρουλά, 2009), 0,064 mg/l (Σουλάντζος, 2006), 0,06 mg/l (Ζαχαριάδης, 2005) και 0,043 mg/l (Τζαραμπάρης, 2010).

Στα υπόγεια νερά της λεκάνης Φαρσάλων και Νίκαιας-Λάρισας οι συγκεντρώσεις κυμαίνονται κατά μέσο όρο στα 0,053 mg/l (Stamatis et al. 2008, Stamatis et al. 2011).

Στα υπόγεια νερά της λεκάνης του Πύργου (Δ/κή Πελοπόννησος) οι συγκεντρώσεις κυμαίνονται στα 0,0026 mg/l (Καραπάνος, 2008).

Στα υπόγεια νερά των Νεογενών λεκανών της Θράκης οι συγκεντρώσεις κυμαίνονται στα 0,00011 mg/l (Παπαδοπούλου-Μουρκίδου, 2002).

Οι τιμές των συγκεντρώσεων Cu στα νερά της περιοχής έρευνας είναι σχετικά υψηλές (Σχήματα 8.57-8.60), που πολλές φορές φτάνουν οριακά ή ξεπερνούν τα όρια που θέτει η Ε.Ε. για τα πόσιμα νερά. Ο μέσος όρος όλων των τιμών είναι 0,07 mg/l. Η κλάση με τη μεγαλύτερη συχνότητα είναι από 0-0,03 mg/l (Σχήμα 8.57) κι ακολουθεί η κλάση των 0,09-0,12 mg/l που βρίσκεται γύρω απ' το όριο της Ε.Ε. για τα πόσιμα νερά.

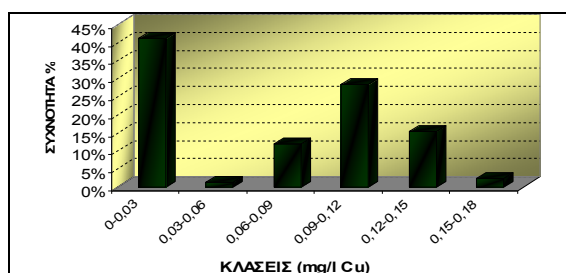
Τα υπόγεια νερά της περιοχής παρουσιάζουν βάσει της λιθολογικής ταξινόμησης τις ακόλουθες συγκεντρώσεις χαλκού:

**α) νερά των τεταρτογενών σχηματισμών:** Οι συγκεντρώσεις χαλκού στα ύδατα των τεταρτογενών σχηματισμών κυμαίνονται μεταξύ 0,004 και 0,162 mg/l, με μέσο όρο 0,075 mg/l (Σχήμα 8.58).

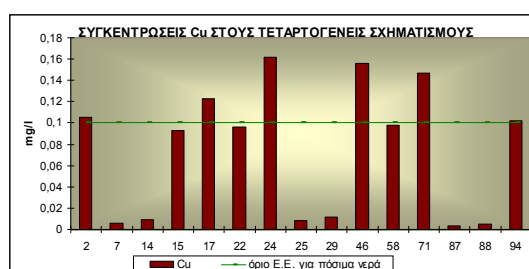
**β) νερά των νεογενών σχηματισμών:** Τα νερά των νεογενών σχηματισμών παρουσιάζουν ελαφρώς μικρότερες συγκεντρώσεις χαλκού συγκριτικά με αυτές των τεταρτογενών αποθέσεων. Οι τιμές κυμαίνονται μεταξύ 0,003 και 0,149 mg/l, με μέσο όρο 0,054 mg/l. Αρκετά δείγματα ξεπερνούν το ανώτατο όριο της Ε.Ε. για τα πόσιμα νερά (Σχήμα 8.59).

**γ) νερά των καρστικών ανθρακικών σχηματισμών:** Οι συγκεντρώσεις χαλκού στα νερά των ανθρακικών σχηματισμών παρουσιάζουν όπως και στην περίπτωση του μαγγανίου, το μικρότερο εύρος τιμών, από 0,03 έως 0,139 mg/l με μέσο όρο 0,078 mg/l (Σχήμα 8.60).

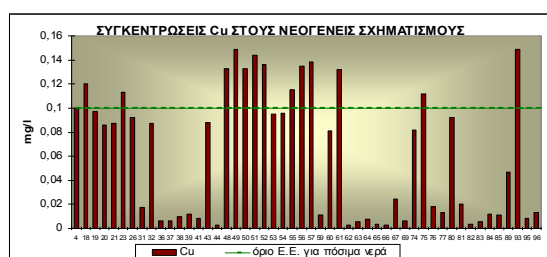
Σε παλαιότερες έρευνες της λεκάνης Μεσογείων οι συγκεντρώσεις χαλκού βρέθηκαν 0,56 mg/l στα ύδατα των νεογενών σχηματισμών και 1,05 mg/l στα ύδατα των ανθρακικών σχηματισμών (Stamatis et al., 2006), μεταξύ 0 και 0,099mg/l (Χαμπίδη, 2005) και μηδενικές (Alexakis and Kelepertzis, 1998).



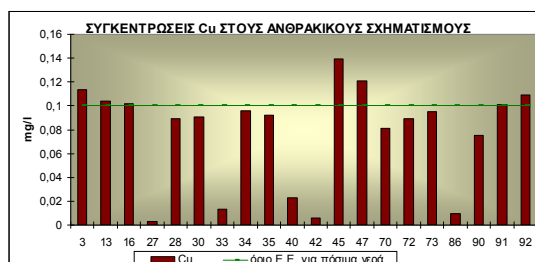
**Σχήμα 8.57:** Ιστόγραμμα συγκεντρώσεων Cu στα υπόγεια νερά



**Σχήμα 8.58:** Διάγραμμα των συγκεντρώσεων Χαλκού στα ύδατα των τεταρτογενών σχηματισμών συγκριτικά με το ανώτατο επιτρεπτό όριο της Ε.Ε. για τα πόσιμα νερά (0,1 mg/l).



**Σχήμα 8.59:** Διάγραμμα των συγκεντρώσεων Χαλκού στα ύδατα των νεογενών σχηματισμών συγκριτικά με το ανώτατο επιτρεπτό όριο της Ε.Ε. για τα πόσιμα νερά (0,1 mg/l).

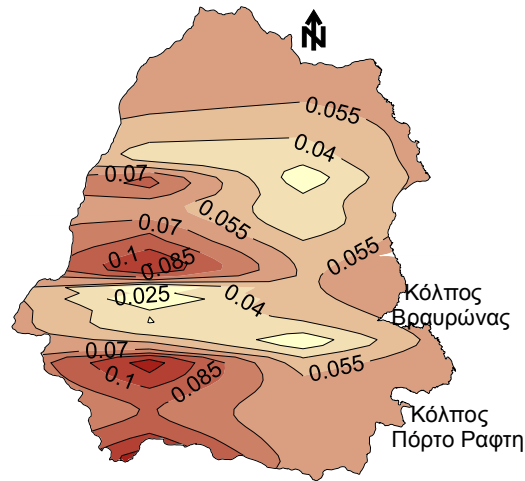


**Σχήμα 8.60:** Διάγραμμα των συγκεντρώσεων Χαλκού στα ύδατα των ανθρακικών σχηματισμών συγκριτικά με το ανώτατο επιτρεπτό όριο της Ε.Ε. για τα πόσιμα νερά (0,1 mg/l).

Βασικές πηγές προέλευσης του χαλκού είναι η παρουσία του στους μεταμορφωμένους σχηματισμούς, οι σημειακές εμφανίσεις των μικτών θειούχων, οι οφιόλιθοι και ιδιαίτερα τα οργανικά υλικά εντός των Νεογενών σχηματισμών. Οι συγκεντρώσεις του χαλκού που προσδιορίζονται στους λιγνίτες των διαφόρων λεκανών της Ελλάδος κυμαίνονται μεταξύ 140 και 220ppm στην Πτολεμαΐδα, μεταξύ 165 και 194ppm στη Μεγαλόπολη, μεταξύ 68 και 200ppm στην Φλώρινα, μεταξύ 25 και 110ppm στη Δράμα και μεταξύ 191 και 335ppm στα Ιωάννινα (Foscolos et al. 1989, Foscolos et al. 1998).

Η σχετικά έντονη παρουσία του χαλκού στα υπόγεια νερά της περιοχής σχετίζεται κυρίως με γεωγενείς παράγοντες. Σε μικρότερο ποσοστό πιθανόν να οφείλεται σε χρήση χαλκούχων σκευασμάτων (Kabata-Pendias and Mukherjee, 2007, Kabata-Pendias and Pendias 1992, [www.lenntech.com/heavy-metals.htm](http://www.lenntech.com/heavy-metals.htm)), που χρησιμοποιούνται ευρέως στην ελιά και το αμπέλι (Παναγόπουλος, 1998), είδη που καλλιεργούνται στα μεγαλύτερα ποσοστά στον κάμπο της περιοχής των Μεσογείων. Δεν αποκλείεται το ενδεχόμενο της προέλευσής του και από τις σωληνώσεις υδροληψίας (Siegel, 2002).

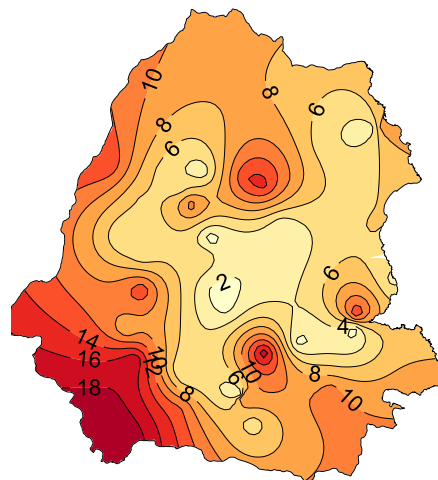
Στα σχήματα 8.61, 8.62 και 8.63 παρουσιάζεται η χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων Cu των υπόγειων νερών, της υδατοδιαλυτής φάσεως των εδαφικών δειγμάτων και της φάσης των δεσμευμένων μορφών Cu στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών της περιοχής αντίστοιχα. Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις στα υπόγεια νερά κατανέμονται στο δυτικό τμήμα, ενώ αντίθετα οι χαμηλότερες τιμές εντοπίζονται στα κεντρικά, ανατολικά και βόρεια τμήματα της περιοχής. Η κατανομή του Cu είναι σχεδόν συγκρίσιμη με αυτή του Mn και του Fe (Σχ. 8.54 και 8.47) και αποδίδεται σε γεωγενείς κυρίως παράγοντες.



**Σχήμα 8.61:** Χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων του Cu των υπόγειων νερών (mg/l)



**Σχήμα 8.62:** Χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων του Cu της υδατοδιαλυτής φάσεως των εδαφικών δειγμάτων (mg/l)



**Σχήμα 8.63:** Χωρική κατανομή των δεσμευμένων μορφών Cu στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών (mg/l)

Η αυξητική τάση των συγκεντρώσεων χαλκού στο δυτικό μέρος της περιοχής αποδίδεται κυρίως στη μεταλλοφορία και στην κατά τόπους εμφάνιση οφιολίθων (Κατσιαβριάς, 2007) κάτι που επιβεβαιώνεται κι από τη χωρική κατανομή των δεσμευμένων μορφών χαλκού στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών που παρουσιάζει επίσης αυξητική τάση προς το νοτιοδυτικό τμήμα (8.63). Η προέλευση των συγκεντρώσεων χαλκού στα νερά του δυτικού τμήματος αποδίδονται δευτερευόντως στη χρήση χαλκούχων σκευασμάτων στις καλλιεργούμενες περιοχές (Kabata-Pendias and Mukherjee 2007, Kabata-Pendias and Pendias 1992). Η ανθρωπογενής προέλευση των συγκεντρώσεων χαλκού ενισχύεται από τις αυξημένες συγκεντρώσεις των υδατοδιαλυτών μορφών εδαφικού χαλκού στην καλλιεργούμενη περιοχή του Κορωπίου (σχήμα 8.62).

#### 8.4.3.4 Ψευδάργυρος (Zn)

Ο ψευδάργυρος είναι ένα ιδιαίτερα διαδεδομένο στοιχείο της lithόσφαιρας. Στα μαγματικά πετρώματα βρίσκεται με συγκεντρώσεις 80 mg/kg, στους ψαμίτες με 16,3 mg/kg, στους αργίλους με 130 mg/kg και στα ανθρακικά πετρώματα με 15,6 mg/kg (Matthess, 1973). Είναι προϊόν βιομηχανικών ή αστικών αποβλήτων και συστατικό φυτοφαρμάκων και λιπασμάτων (Καλλιάνου, 2007). Απαντάται κυρίως στα μικτά

θειούχα κοιτάσματα μαζί με τον μόλυβδο, τον σίδηρο, το κάδμιο και τον χαλκό. Τα πιο συνήθη ορυκτά είναι ο σφαλερίτης (ZnS), ο ζιγκίτης (ZnO) και ο σμιθωνίτης (ZnCO<sub>3</sub>). (Kabata – Pendias and Pendias, 1992).

Στα όξινα εδάφη ο Zn<sup>2+</sup> είναι ευκίνητος. Τα οξείδια, τα ανθρακικά και τα θειούχα άλατα του ψευδαργύρου είναι ελαφρώς διαλυτά στο νερό, ενώ τα πολύ διαλυτά χλωριούχα και θειικά άλατα του ψευδαργύρου τείνουν να υδρολύονται για να σχηματίσουν υδροξείδιο του ψευδαργύρου και ανθρακικό ψευδάργυρο. Αποτέλεσμα αυτού είναι οι πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις ψευδαργύρου στα φυσικά νερά.

Οι συγκεντρώσεις ψευδαργύρου στα φυσικά επιφανειακά νερά δεν ξεπερνούν τα 10 µg/l. Στο θαλασσίνο νερό η συγκέντρωση ανέρχεται σε 0,005 mg/l ενώ στα υπόγεια νερά κυμαίνεται από 0-0,22 mg/l. Σε πηγές μεταλλοφόρων περιοχών παρατηρούνται συγκεντρώσεις μέχρι 3,4 mg/l, και στα όξινα νερά των μεταλλείων μέχρι 2412 mg/l. Στο επεξεργασμένο πόσιμο νερό ο ψευδάργυρος κυμαίνεται από 0,01-1,0 mg/l. Η παρουσία υψηλότερων τιμών συνδέεται πάντοτε με την χρήση των γαλβανισμένων σωλήνων του δικτύου ύδρευσης (DVWK, 1998). Η ΕΕ συγκαταλέγει τον ψευδάργυρο στην κατηγορία των ανεπιθύμητων ουσιών και δίνει σαν ανώτατη παραδεκτή συγκέντρωση ψευδαργύρου στο πόσιμο νερό τα 100 µg/l.

Ελλείψεις Zn<sup>2+</sup> έχουν συχνά παρατηρηθεί σε εδάφη με υψηλή περιεκτικότητα σε φώσφορο. Ο P φαίνεται να επιδρά στη πρόσληψη, στη μετακίνηση και στο μεταβολισμό του Zn. Ο ακριβής μηχανισμός του ανταγωνισμού δεν είναι μέχρι σήμερα γνωστός. Αλληλεπιδράσεις στην πρόσληψη και μετακίνηση του Zn<sup>2+</sup> παρατηρούνται επίσης με το Cd<sup>2+</sup> και το Cu<sup>2+</sup>. Ο Cu<sup>2+</sup> απορροφάται προφανώς από τις ρίζες των φυτών, δηλαδή από τις ίδιες θέσεις πρόσληψης που απορροφάται και ο Zn<sup>2+</sup>. Υψηλές συγκεντρώσεις Ni προκαλούν επίσης έλλειψη Zn (Καλλιάνου, 2007).

Είναι απαραίτητο ιχνοστοιχείο τόσο για τα φυτά όσο και για τον άνθρωπο. Συγκεντρώνεται σε μεγάλες ποσότητες σε συγκεκριμένες περιοχές του εγκεφάλου, του παγκρέατος και των επινεφριδίων αδένων αλλά είναι παρόν σε όλα τα κύτταρα και κυρίως στον πυρήνα. Περισσότερα από 60 ένζυμα χρειάζονται την παρουσία ψευδαργύρου για τη δραστηριότητά τους, συμπεριλαμβανομένων των πολυμερασών RNA.

Η έλλειψη Zn είναι η δεύτερη περισσότερο συνηθισμένη έλλειψη μικροστοιχείου, μετά την τροφопενία Fe, που παρατηρείται σε πολλές ετήσιες καλλιέργειες. Οι ελλείψεις Zn είναι συνηθισμένες σε εδάφη με χαμηλό ολικό περιεχόμενο σε Zn, όπως αμμώδη εδάφη, τυρφώδη ή οργανικά εδάφη καθώς και σε ισχυρώς αποπλυμένα όξινα εδάφη. Τυπικά συμπτώματα τοξικότητας Zn καθώς και άλλων βαρέων μετάλλων είναι η καχεκτική ανάπτυξη και η εμφάνιση χλώρωσης στα φύλλα παρόμοια με αυτή που παρατηρείται σε περιπτώσεις έλλειψης Fe. Το όριο τοξικότητας για τον Zn εξαρτάται από το φυτικό είδος, το γονότυπο και το στάδιο ανάπτυξης του φυτού.

Συνίσταται κατανάλωση 15 mg Zn/day για άντρες και 12 mg/ day για γυναίκες. Η ανεπάρκεια Zn προκαλεί έμφραγμα του μυοκαρδίου, καθυστέρηση της ανάπτυξης του ανθρώπου και αλλεργίες κατά την παιδική ηλικία. Αντίθετα, η υπερέπάρκεια Zn θεωρείται τοξική και προκαλεί γαστρικά προβλήματα, ναυτία, ζαλάδες και τάσεις για εμετό ([www.tjelarkinc.com/minerals](http://www.tjelarkinc.com/minerals)).

Σε έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί στα υπόγεια ύδατα διαφόρων περιοχών της Ελλάδος, οι οποίες αποτελούνται από Τεταρτογενείς και Νεογενείς σχηματισμούς, η παρουσία του ψευδαργύρου στα υπόγεια νερά είναι χαρακτηριστική με συγκεντρώσεις πλησίον του ανώτατου ορίου που θέτει η Ε.Ε. για τα πόσιμα ύδατα.

Στα υπόγεια νερά της λεκάνης Ασωπού οι συγκεντρώσεις κυμαίνονται κατά μέσο όρο στα 0,092mg/l (Γαμβρουλά, 2009), 0,157 mg/l (Σουλάντζος, 2006), 0,08 mg/l (Ζαχαριάδης, 2005) και 0,044 mg/l (Τζαραμπάρης, 2010).

Στα υπόγεια νερά της λεκάνης Φαρσάλων και Νίκαιας-Λάρισας οι συγκεντρώσεις κυμαίνονται κατά μέσο όρο στα 0,02 mg/l (Stamatis et al. 2008, Stamatis et al. 2011).

Στα υπόγεια νερά της λεκάνης του Πύργου (Δ/κή Πελοπόννησος) οι συγκεντρώσεις κυμαίνονται κατά μέσο όρο στα 0,042 mg/l (Καραπάνος, 2008).

Στα υπόγεια νερά των Νεογενών λεκανών της Θράκης οι συγκεντρώσεις ξεπερνούν το όριο ποσιμότητας και κυμαίνονται κατά μέσο όρο στα 0,62 mg/l (Παπαδοπούλου-Μουρκίδου, 2002).

Ο ψευδαργύρος ανιχνεύθηκε σε υψηλές συγκεντρώσεις στα περισσότερα δείγματα των υπόγειων νερών της περιοχής έρευνας. Όλες οι τιμές ξεπερνούν το ανώτατο όριο που έχει θέσει η Ε.Ε. για τα πόσιμα νερά, με μέσο όρο τα 0,42 mg/l (Σχήματα 8.64-8.67). Η κλάση με τη μεγαλύτερη συχνότητα απαντάται μεταξύ των τιμών 0 και 0,2 mg/l (Σχήμα 8.64).

Τα υπόγεια νερά της περιοχής παρουσιάζουν βάσει της λιθολογικής ταξινόμησης τις ακόλουθες συγκεντρώσεις ψευδαργύρου:

**α) νερά των τεταρτογενών σχηματισμών:** Οι συγκεντρώσεις ψευδαργύρου των υδάτων των τεταρτογενών αποθέσεων κυμαίνονται μεταξύ 0,023 και 4,978 mg/l, με μέσο όρο 0,732 mg/l (σχήμα 8.65). Η υψηλή συγκέντρωση στο Νο 25 (4,978 mg/l) προέρχεται πιθανόν από τις σωληνώσεις υδροληψίας (Siegel, 2002).

**β) νερά των νεογενών σχηματισμών:** Τα νερά των νεογενών σχηματισμών παρουσιάζουν μικρότερο μέσο όρο συγκεντρώσεων ψευδαργύρου (0,425 mg/l) συγκριτικά με αυτόν των τεταρτογενών αποθέσεων, αλλά μεγαλύτερο εύρος τιμών που κυμαίνονται μεταξύ 0,004 και 8,683 mg/l. Όλα τα δείγματα ξεπερνούν το ανώτατο όριο της Ε.Ε. για τα πόσιμα νερά (σχήμα 8.66). Η υψηλή συγκέντρωση στο Νο 69 (8,683 mg/l) προέρχεται πιθανόν από τη διάβρωση των σωληνώσεων (Siegel, 2002).

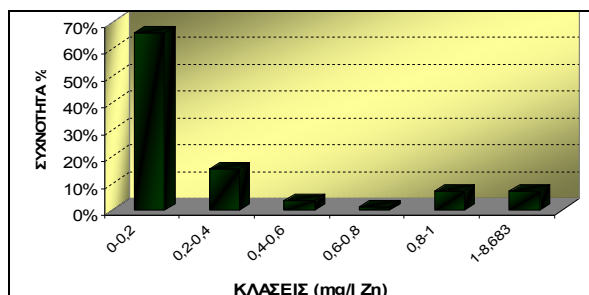
**γ) νερά των καρστικών ανθρακικών σχηματισμών:** Οι συγκεντρώσεις ψευδαργύρου στα νερά των ανθρακικών σχηματισμών παρουσιάζουν πολύ χαμηλότερες τιμές συγκριτικά με αυτές των άλλων σχηματισμών και κυμαίνονται μεταξύ 0,01 και 0,897 mg/l, με μέσο όρο 0,18 mg/l (σχήμα 8.67).

Σε προγενέστερες έρευνες της λεκάνης Μεσογείων παρατηρήθηκαν υψηλές συγκεντρώσεις ψευδαργύρου. Οι ασυνήθιστα υψηλές τιμές επιβεβαιώνονται και στην εργασία των Γιαννουλόπουλου και Γκιντώνη (2008). Στην παλαιότερη εργασία των Alexakis and Kelepertzis (1998) ανιχνεύθηκαν κατά μέσο όρο 0,05mg/l ψευδαργύρου που δεν ξεπερνούν το όριο ποσιμότητας (0,1 mg/l) ενώ σε νεότερες εργασίες το όριο ξεπερνιέται με συγκεντρώσεις στα ύδατα των νεογενών σχηματισμών κατά μέσο όρο στα 0,19 mg/l, στα ύδατα των ανθρακικών σχηματισμών στα 0,86mg/l (Stamatis et al., 2006) και με μέγιστη τιμή 1,982mg/l (Χαμπίδη, 2005).

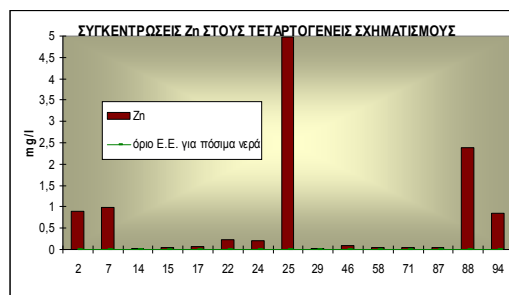
Βασικές πηγές προέλευσης του ψευδαργύρου είναι η παρουσία του στους μεταμορφωμένους σχηματισμούς, οι σημειακές εμφανίσεις των μικτών θειούχων και ιδιαίτερα τα οργανικά υλικά εντός των Νεογενών σχηματισμών. Οι συγκεντρώσεις του ψευδαργύρου που προσδιορίζονται στην τέφρα των λιγνιτών των διαφόρων λεκανών της Ελλάδος κυμαίνονται μεταξύ 57 και 98ppm στην Πτολεμαΐδα, μεταξύ 110 και 185ppm στη Μεγαλόπολη, μεταξύ 50 και 547ppm στην Φλώρινα, μεταξύ 50 και 242ppm στη Δράμα και μεταξύ 130 και 151ppm στα Ιωάννινα (Foscolos et al. 1989, Foscolos et al. 1998).

Η έντονη παρουσία του ψευδαργύρου στα υπόγεια νερά της περιοχής είναι κυρίως γεωγενής και αποδίδεται προφανώς σε οξειδωση θειούχων ορυκτών κι έκπλυσή τους από τους σχιστόλιθους (Alexakis & Kelepertsis, 1998). Είναι αξιοσημείωτο το γεγονός ότι στο θαλασσίνο νερό της περιοχής βρέθηκαν υψηλές συγκεντρώσεις ψευδαργύρου (Ταγματάρχη, 2000) συνεπώς ο εμπλουτισμός του υδροφόρου με θαλασσίνο νερό δρα αθροιστικά στις συγκεντρώσεις Zn στα υπόγεια νερά της παράκτιας ζώνης. Επίσης η παρουσία του μπορεί να αποδίδεται σε έκπλυση από εφαρμογή αγροχημικών

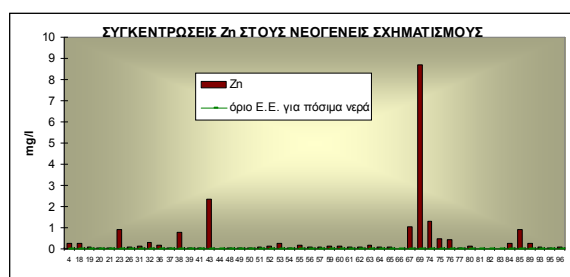
(www.lenntech.com/heavy-metals.htm, Kabata-Pendias & Mukherjee 2007, Ross 1994, Siegel 2002).



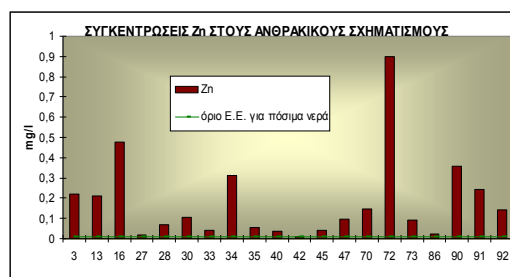
Σχήμα 8.64: Ιστόγραμμα συγκεντρώσεων Zn στα υπόγεια νερά



Σχήμα 8.65: Διάγραμμα των συγκεντρώσεων Ψευδαργύρου στα ύδατα των τεταρτογενών σχηματισμών συγκριτικά με το ανώτατο όριο της Ε.Ε. για τα πόσιμα νερά (100 µg/l).



Σχήμα 8.66: Διάγραμμα των συγκεντρώσεων Ψευδαργύρου στα ύδατα των νεογενών σχηματισμών συγκριτικά με το ανώτατο επιτρεπτό όριο της Ε.Ε. για τα πόσιμα νερά (100 µg/l).



Σχήμα 8.67: Διάγραμμα των συγκεντρώσεων Zn στα ύδατα των ανθρακικών σχηματισμών συγκριτικά με το ανώτατο επιτρεπτό όριο της Ε.Ε. για τα πόσιμα νερά (100 µg/l).

Στα σχήματα ακόλουθα σχήματα παρουσιάζονται οι χωρικές κατανομές των συγκεντρώσεων Zn των υπόγειων νερών (Σχ. 8.68), της υδατοδιαλυτής φάσεως των εδαφικών δειγμάτων (Σχ. 8.69) και της φάσης των δεσμευμένων μορφών Zn στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών (Σχ. 8.70) αντίστοιχα. Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις στα υπόγεια νερά κατανέμονται στο νοτιοανατολικό τμήμα και ιδιαίτερα στη λεκάνη του Ερασίνου. Οι χαμηλότερες τιμές εντοπίζονται στα δυτικά και βόρεια τμήματα της περιοχής. Από την ομοιότητα στις χωρικές κατανομές των συγκεντρώσεων Zn στα υπόγεια νερά (Σχ. 8.68) και των αντίστοιχων δεσμευμένων στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών (Σχ. 8.70), συμπεραίνουμε πως η παρουσία αποδίδεται σε γεωγενείς κυρίως παράγοντες και σχετίζεται με την οξείδωση των θειούχων ορυκτών κι έκπλυσή τους από τους σχιστόλιθους (Alexakis & Kelepertsis, 1998).

Η αυξητική τάση προς την καλλιεργούμενη περιοχή του Μαρκόπουλου, νότια του αεροδρομίου «Ελ. Βενιζέλος» όπου εμφανίζονται οι υψηλότερες τιμές Zn της υδατοδιαλυτής φάσεως των εδαφικών δειγμάτων (Σχ. 8.69), πιθανόν να αποδίδεται σε χρήση αγροχημικών (www.lenntech.com/heavy-metals.htm, Kabata-Pendias & Mukherjee 2007, Ross 1994, Siegel 2002) και άλλων ανθρωπογενών επιδράσεων που έχουν σαν αποτέλεσμα επιφανειακές απορροές που διαρρέουν τον Ερασίνο. Στα βόρεια και νότια τμήματα η παρουσία του Zn περιορίζεται έντονα και κατά τόπους γίνεται ανύπαρκτη.

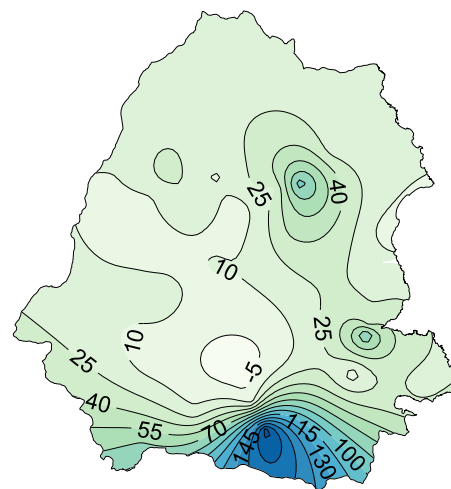




Σχήμα 8.68: Χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων του Zn των υπόγειων νερών (mg/l)



Σχήμα 8.69: Χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων του Zn της υδατοδιαλυτής φάσεως των εδαφικών δειγμάτων (mg/l)



Σχήμα 8.70: Χωρική κατανομή των δεσμευμένων μορφών Zn στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών (mg/l)

#### 8.4.3.5 Κάδμιο (Cd)

Το Cd είναι 67<sup>ο</sup> στη συχνότητα εμφάνισης των στοιχείων στη φύση και είναι ένα σπάνιο στοιχείο της λιθόσφαιρας. Δεν είναι απαραίτητο στοιχείο για τη βιολογική λειτουργία των οργανισμών και είναι πολύ τοξικό για τα φυτά, τα ζώα και τον άνθρωπο (Das et al., 1997).

Στα μαγματικά πετρώματα βρίσκεται με συγκεντρώσεις 0,192 mg/kg στους ψαμμίτες με 0,0199 mg/kg, στους αργίλους με 0,183 mg/kg και στα ανθρακικά πετρώματα με 0,0476 mg/kg. Στο θαλασσινό νερό η συγκέντρωση ανέρχεται σε 0,00011 mg/l. Απαντάται κυρίως στα μικτά θειούχα κοιτάσματα μαζί με τον μόλυβδο και τον ψευδάργυρο (Matthess, 1973).

Στα φυσικά υπόγεια νερά το κάδμιο σχεδόν απουσιάζει ή εντοπίζεται σε ίχνη, λόγω της γεωχημικής κατανομής του και της μη διαλυτότητας του. Σε πηγές μεταλλοφόρων περιοχών παρατηρούνται συγκεντρώσεις μέχρι 20 μg/l, και στα όξινα νερά των μεταλλείων μέχρι 41,1 mg/l. Στο επεξεργασμένο πόσιμο νερό δεν εμφανίζεται το κάδμιο. Η παρουσία του συνδέεται πάντοτε με την χρήση γαλβανισμένων σωλήνων στο δίκτυο ύδρευσης (DVWK, 1998).

Η Ε.Ε. συγκαταλέγει το κάδμιο στην κατηγορία των τοξικών ουσιών και δίνει σαν ανώτατη παραδεκτή συγκέντρωση καδμίου στο πόσιμο νερό τα 5 μg/l που ταυτίζεται με τα πρότυπα πόσιμου νερού της Ε.Ρ.Α. Στο νερό άρδευσης δεν επιτρέπεται η συγκέντρωση καδμίου να υπερβαίνει τα 10 μg/l, λόγω της προσρόφησης του από τα καλλιεργούμενα φυτά. Υψηλές συγκεντρώσεις καδμίου παρατηρούνται στα εκτρεφόμενα οστρακοειδή, για τον λόγο αυτόν στο θαλασσινό νερό δεν επιτρέπονται συγκεντρώσεις καδμίου άνω των 5 μg/l.

Το κάδμιο είναι ένα απαραίτητο ιχνοστοιχείο για τα φυτά αλλά σε μεγάλες συγκεντρώσεις προκαλεί τοξικότητες τόσο στα φυτά όσο και στους οργανισμούς. Η ημερήσια προσλαμβανόμενη ποσότητα Καδμίου κυμαίνεται μεταξύ 2 και 8mg, προερχόμενη από τροφές όπως τα οστρακόδερμα, κάποια δημητριακά και τα φυλλώδη λαχανικά. Το Cd έχει μεγάλη ημιπερίοδο ζωής στο ανθρώπινο σώμα γι αυτό μεγάλες προσλαμβανόμενες ποσότητες μπορεί να οδηγήσουν σε υπερσυσσώρευση και βλάβη σε ορισμένα ευαίσθητα όργανα όπως τα νεφρά. Η συνιστώμενη δόση είναι 0,5 μg Cd / Kg ζώντους βάρους ([www.tjclarkinc.com/minerals](http://www.tjclarkinc.com/minerals)).

Το κάδμιο ενοχοποιείται για πολλές παθολογικές καταστάσεις όπως είναι η υπέρταση, η στειρώση των ανδρών, οι ηπατικές και νεφρικές δυσλειτουργίες καθώς επίσης και η μετάλλαξη των χρωματοσωμάτων. Δεν έχουν παρατηρηθεί καρκινογενέσεις από την πρόσληψη υψηλών ποσοστών καδμίου. Υψηλά ποσοστά του καδμίου παράγονται ως παραπροϊόν της χύτευσης του ψευδαργύρου, μολύβδου και χαλκού. Από την καύση των γαιανθράκων και των απορριμμάτων απελευθερώνονται στο περιβάλλον σημαντικές ποσότητες καδμίου. Στο καπνό των τσιγάρων ανιχνεύονται υψηλές συγκεντρώσεις καδμίου 2-4 μg/πακέτο ([www.lenntech.com/heavy-metals.htm](http://www.lenntech.com/heavy-metals.htm)).

Χρησιμοποιείται σε εκτεταμένες εφαρμογές, όπως στις μπαταρίες νικελίου-καδμίου, στα χρώματα, σε σταθεροποιητές των πλαστικών, σε διάφορα κράματα με τον χαλκό, στην επιμετάλλωση (DVWK, 1998), στις βαφές και τα στιλβωτικά, σαν προστατευτικό επίχρισμα του χάλυβα, σαν σταθεροποιητικό σε πλαστικά, στα φωτοβολταϊκά κύτταρα και στους πυρηνικούς αντιδραστήρες (Alloway, 1995) με αποτέλεσμα η επιβάρυνση του περιβάλλοντος να είναι η συνέπεια των εφαρμογών του).

Η ρύπανση του περιβάλλοντος με Cd έχει αυξηθεί κατά πολύ τις τελευταίες δεκαετίες, λόγω αυξημένης χρησιμοποίησής του από τη βιομηχανία. Αντίθετα με το Pb, Cu και Hg που χρησιμοποιούνται εδώ και αιώνες, το Cd άρχισε να χρησιμοποιείται ευρέως μόλις τον περασμένο αιώνα. Η παγκόσμια παραγωγή Cd αυξήθηκε από 11.000 τόνους το 1960 σε 20.200 τόνους το 1990 (Nriagu, 1988). Το Cd θεωρείται σημαντικός ρυπαντής του περιβάλλοντος, διότι είναι ιδιαίτερα τοξικό και ευδιάλυτο στο νερό και αποτελεί σοβαρή απειλή για τα υδατικά οικοσυστήματα (Das et al., 1997). Σύμφωνα με τον Tiller (1989) η συγκέντρωση της ατμόσφαιρας σε Cd κυμαίνεται μεταξύ 1 και 50ng/m<sup>3</sup> ανάλογα την απόσταση από την πηγή εκπομπής. Τη σημαντικότερη πηγή ρύπανσης της γεωργικής γης με Cd αποτελούν τα φωσφορούχα λιπάσματα.

Σε έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί σε διάφορες λεκάνες της Ελλάδος, οι οποίες αποτελούνται από Νεογενείς σχηματισμούς, η παρουσία του καδμίου στα υπόγεια νερά είναι χαρακτηριστική με συγκεντρώσεις που στην πλειοψηφία τους ξεπερνούν το ανώτατο όριο των 0,005mg/l για τα πόσιμα νερά.

Στα υπόγεια νερά της λεκάνης Ασωπού οι συγκεντρώσεις κυμαίνονται κατά μέσο όρο στα 0,06μg/l (Γαμβρουλά, 2009), 0,048 mg/l (Σουλάντζος, 2006) και στη λεκάνη Ωρωπού 0,06 mg/l (Ζαχαριάδης, 2005).

Στα υπόγεια νερά της λεκάνης Φαρσάλων και Νίκαιας-Λάρισας οι συγκεντρώσεις κυμαίνονται κατά μέσο όρο στα 0,008 mg/l (Stamatis et al. 2008, Stamatis et al. 2011).

Στα υπόγεια νερά της λεκάνης του Πύργου (Δ/κή Πελοπόννησος) οι συγκεντρώσεις κυμαίνονται κατά μέσο όρο στα 0,0075 μg/l (Καραπάνος, 2008)

Στα υπόγεια νερά των Νεογενών λεκανών της Θράκης οι συγκεντρώσεις ξεπερνούν το όριο ποσιμότητας και κυμαίνονται κατά μέσο όρο στα 0,595  $\mu\text{g/l}$  (Παπαδοπούλου-Μουρκίδου, 2002).

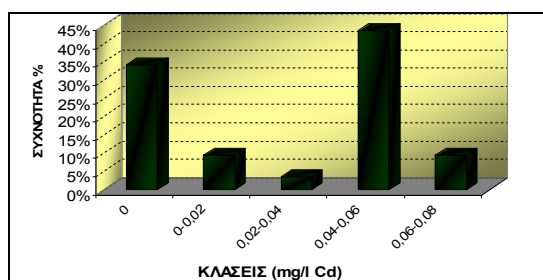
Η στατιστική ανάλυση του καδμίου δείχνει μια ασύμμετρη κατανομή με τις τιμές να συγκεντρώνονται σε 2 μη όμορες κλάσεις (στη μηδενική και 0,04-0,06  $\text{mg/l}$ , σχήμα 8.71). Οι συγκεντρώσεις Καδμίου κυμαίνονται από 0 έως 0,08  $\text{mg/l}$  με μέσο όρο γύρω στα 0,03  $\text{mg/l}$  (σχήματα 8.72-8.74). Σε προηγούμενη έρευνα οι συγκεντρώσεις καδμίου δεν ξεπερνούν τα 0,19  $\text{mg/l}$  (Χαμπίδη, 2005).

Τα υπόγεια νερά της περιοχής παρουσιάζουν βάσει της λιθολογικής ταξινόμησης τις ακόλουθες συγκεντρώσεις καδμίου:

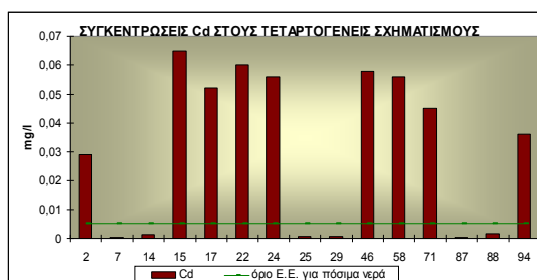
**α) νερά των τεταρτογενών σχηματισμών:** Οι συγκεντρώσεις καδμίου στα υπόγεια νερά των τεταρτογενών αποθέσεων κυμαίνονται από 0 έως 0,065  $\text{mg/l}$  με μέσο όρο 0,031  $\text{mg/l}$  (σχήμα 8.72).

**β) νερά των νεογενών σχηματισμών:** Τα νερά των νεογενών σχηματισμών παρουσιάζουν συγκεντρώσεις καδμίου που κυμαίνονται από 0 έως 0,076  $\text{mg/l}$  με μέσο όρο 0,025  $\text{mg/l}$  (σχήμα 8.73).

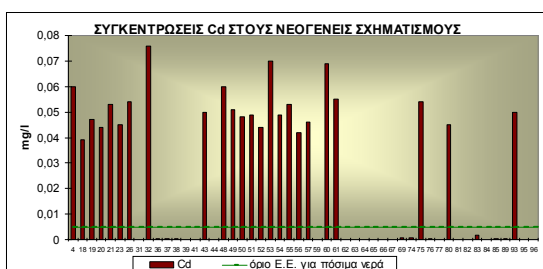
**γ) νερά των καρστικών ανθρακικών σχηματισμών:** Οι συγκεντρώσεις καδμίου στα νερά των ανθρακικών σχηματισμών παρουσιάζουν ελαφρώς υψηλότερο μέσο όρο συγκριτικά με αυτόν των άλλων σχηματισμών (0,042  $\text{mg/l}$ ) και κυμαίνονται από 0 έως 0,071  $\text{mg/l}$  (σχήμα 8.74).



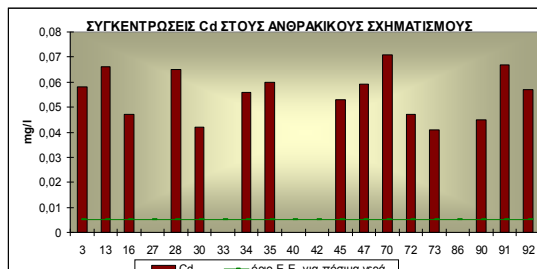
**Σχήμα 8.71:** Ιστόγραμμα συγκεντρώσεων Cd στα υπόγεια νερά



**Σχήμα 8.72:** Διάγραμμα των συγκεντρώσεων Καδμίου στα ύδατα των τεταρτογενών σχηματισμών συγκριτικά με το ανώτατο επιτρεπτό όριο της Ε.Ε. για τα πόσιμα νερά (0,005  $\text{mg/l}$ ).



**Σχήμα 8.73:** Διάγραμμα των συγκεντρώσεων Καδμίου στα ύδατα των νεογενών σχηματισμών συγκριτικά με το ανώτατο επιτρεπτό όριο της Ε.Ε. για τα πόσιμα νερά (0,005  $\text{mg/l}$ ).



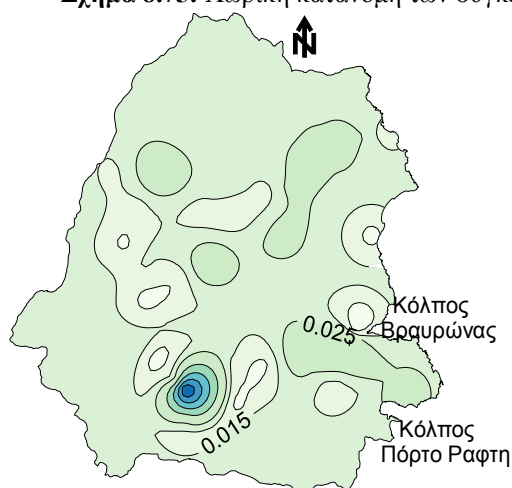
**Σχήμα 8.74:** Διάγραμμα των συγκεντρώσεων Καδμίου στα ύδατα των ανθρακικών σχηματισμών συγκριτικά με το ανώτατο επιτρεπτό όριο της Ε.Ε. για τα πόσιμα νερά (0,005  $\text{mg/l}$ ).

Βασικές πηγές προέλευσης του καδμίου στην περιοχή έρευνας είναι η παρουσία του στους μεταμορφωμένους σχηματισμούς, στους οφιόλιθους και οι σημειακές εμφανίσεις των μικτών θειούχων. Επίσης συνυπάρχει στα οργανικά υλικά των Νεογενών σχηματισμών. Οι συγκεντρώσεις του καδμίου που προσδιορίζονται στην τέφρα των λιγνιτών των διαφόρων λεκανών της Ελλάδος δεν ξεπερνούν τα 3,3ppm

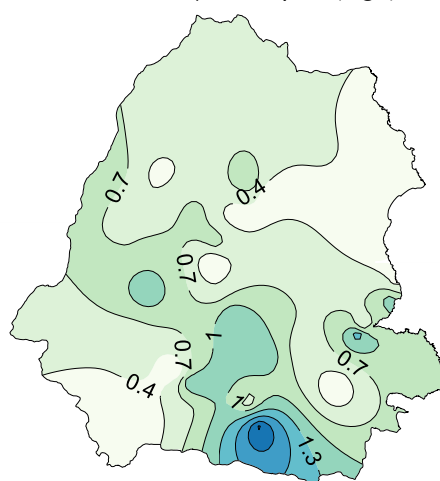
στην Πτολεμαΐδα, τα 1,8ppm στη Μεγαλόπολη, τα 3,3ppm στην Φλώρινα, τα 2,1ppm στη Δράμα και τα 3,2ppm στα Ιωάννινα (Foscolos et al. 1989, Foscolos et al. 1998).



**Σχήμα 8.75:** Χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων του Cd των υπόγειων νερών (mg/l)



**Σχήμα 8.76:** Χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων του Cd της υδατοδιαλυτής φάσεως των εδαφικών δειγμάτων (mg/l)



**Σχήμα 8.77:** Χωρική κατανομή των δεσμευμένων μορφών Cd στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών (mg/l)

Στα σχήματα 8.75, 8.76 και 8.77 παρουσιάζεται η χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων Cd των υπόγειων νερών, της υδατοδιαλυτής φάσεως των εδαφικών δειγμάτων και της φάσης των δεσμευμένων μορφών Cd στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών της περιοχής αντίστοιχα. Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις στα υπόγεια νερά κατανέμονται στα νότια και νοτιοδυτικά τμήματα της περιοχής. Αντίθετα οι χαμηλότερες τιμές εντοπίζονται στα κεντρικά και βόρεια τμήματα της περιοχής. Η κατανομή του Cd των υπόγειων υδάτων είναι σχεδόν συγκρίσιμη με αυτή του Pb, Ni και Cr (Σχ. 8.82, 8.89 και 8.101). Η έντονη παρουσία του στις εν λόγω περιοχές σχετίζεται με την εμφάνιση των σχιστόλιθων, των οφιολιθικών σωμάτων και τις σημειακές εμφανίσεις των μεικτών θειούχων (Κατσιαβριάς, 2007), κάτι που ενισχύεται από την χωρική κατανομή των δεσμευμένων μορφών Cd στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών (σχήμα 8.77) με αυξητική τάση προς το νότιο τμήμα. Η εφαρμογή φωσφορικών λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων (Kabata-Pendias and Pendias 1992, Siegel 2002, [www.lenntech.com/heavy-metals.htm](http://www.lenntech.com/heavy-metals.htm)) πιθανόν να δρουν αυξητικά στην εμφάνιση υψηλών συγκεντρώσεων Cd στα υπόγεια νερά..

#### 8.4.3.6 Μόλυβδος (Pb)

Ο μόλυβδος παρουσιάζει περιορισμένη κατανομή στην λιθόσφαιρα. Στα μαγματικά πετρώματα βρίσκεται με συγκεντρώσεις 15,6 mg/kg, στους ψαμμίτες με 13,5 mg/kg, στους αργίλους με 80,0 mg/kg, στα ανθρακικά πετρώματα με 16,5 mg/kg και στους εβαπορίτες με 0,9 mg/kg. Στο θαλασσινό νερό η συγκέντρωση ανέρχεται σε 0,00003 mg/l. Απαντάται κυρίως στα μικτά θειούχα κοιτάσματα σχηματίζοντας διάφορα ορυκτά, όπως ο γαληνίτης (PbS), ο κερουσίτης (PbCO<sub>3</sub>) και ο αγγλεσίτης (PbSO<sub>4</sub>). Στο περιβάλλον απαντάται κυρίως στην ανόργανη μορφή, εκτός μικρού ποσοστού που συνδέεται με την καύση της μολυβδούχου βενζίνης (Matthess 1973).

Οι μορφές του μολύβδου εξαρτώνται από τα χαρακτηριστικά του υδάτινου περιβάλλοντος στο οποίο εντοπίζεται. Μπορεί να εμφανίζεται με τη μορφή Pb<sup>2+</sup>, PbHCO<sub>3</sub><sup>+</sup>, οργανικών συμπλόκων, οργανομεταλλικών ενώσεων και με τη μορφή αλάτων όπως PbHCO<sub>3</sub>.

Στα φυσικά υπόγεια νερά ο μόλυβδος σχεδόν απουσιάζει ή εντοπίζεται σε ίχνη από 1-20 μg/l, λόγω της γεωχημικής κατανομής του και της περιορισμένης διαλυτότητάς του. Υψηλότερες συγκεντρώσεις παρατηρούνται σε μεταλλοφόρες περιοχές μέχρι 1,3 mg/l, στα θερμομεταλλικά νερά μέχρι 0,52 mg/l καθώς και στα όξινα νερά των μεταλλείων μέχρι 1,2 mg/l (DVWK, 1998). Στο πόσιμο νερό δεν εμφανίζεται ο μόλυβδος λόγω της επεξεργασίας του. Συνήθως εμφανίζονται ίχνη στο πόσιμο νερό όταν χρησιμοποιούνται μολύβδινες σωλήνες στο δίκτυο. Η Ε.Ε. συγκαταλέγει το μόλυβδο στις τοξικές ουσίες και θέτει σαν ανώτατο επιτρεπτό όριο τα 50 μg/l, πολύ μεγαλύτερο απ' το όριο των 15 μg/l που θέτει η Ε.Ρ.Α. για τα πόσιμα νερά. Η τοξικότητα του μολύβδου είναι μεγαλύτερη στο μαλακό νερό και λιγότερη στο σκληρό νερό. Γενικά τα μαλακά νερά με χαμηλό pH εμπεριέχουν περισσότερους κινδύνους για τον ανθρώπινο οργανισμό.

Ο Μόλυβδος είναι περισσότερο γνωστός για τις τοξικές του ιδιότητες. Η καθημερινή προσλαμβανόμενη ποσότητα Μολύβδου στην ανθρώπινη διατροφή είναι 15 - 100 μg από τροφές όπως τα θαλασσινά ή τρόφιμα καλλιεργημένα σε εδάφη πλούσια σε Pb. Η ανεπάρκεια Μολύβδου έδειξε σε πειραματόζωα ότι προκαλεί μειωμένο ρυθμό ανάπτυξης και προβλήματα στο μεταβολισμό του σιδήρου. Η υπερεπάρκεια του Μολύβδου έχει πιο εμφανή αποτελέσματα όπως αναιμία, βλάβη στα νεφρά και ανωμαλίες στο κεντρικό νευρικό σύστημα ([www.tjclarkinc.com/minerals](http://www.tjclarkinc.com/minerals)).

Ο Μόλυβδος χρησιμοποιείται σε εκτεταμένες εφαρμογές λόγω της ευκολίας που παρουσιάζει στη μορφοποίηση και στη σφουρηλάτηση. Χρησιμοποιείται στις μπαταρίες, τα προσθετικά πετρελαίου και βενζίνης, τα κράματα μετάλλων, τις χρωματικές ύλες, τα καραβόσχοινα, τα υλικά φωτογραφίας, τα πυρομαχικά κ.α. δραστηριότητες που μπορούν να έχουν άμεση επίπτωση στο περιβάλλον ([www.lenntech.com/heavy-metals.htm](http://www.lenntech.com/heavy-metals.htm)).

Το έδαφος είναι ο αποδέκτης του Pb που προέρχεται από ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Πηγές, Pb είναι οι εξορύξεις και χυτήρια Pb, λιπάσματα (Siegel 2002, Kabata-Pendias and Pendias 1992, [www.lenntech.com/heavy-metals.htm](http://www.lenntech.com/heavy-metals.htm)) και αστικά απόβλητα που χρησιμοποιούνται στη γεωργία καθώς και η ρύπανση την οποία προκαλούν τα αέρια που εκπέμπονται από τις εξατμίσεις των οχημάτων. Στις αρχές του 1920 ανακαλύφθηκε ότι τα αλκύλια του Pb όταν προστεθούν στη βενζίνη γίνεται καλύτερη καύση. Το 1923 για πρώτη φορά πουλήθηκε βενζίνη εμπλουτισμένη με Pb και από τότε καθιερώθηκε πολύ γρήγορα η χρήση της στην αγορά (Alloway, 1995).

Σε έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί στα υπόγεια ύδατα διαφόρων περιοχών της Ελλάδος, οι οποίες αποτελούνται από Τεταρτογενείς και Νεογενείς σχηματισμούς, η παρουσία του μολύβδου στα υπόγεια νερά είναι χαρακτηριστική με συγκεντρώσεις που στην πλειοψηφία τους δεν ξεπερνούν το ανώτατο όριο που θέτει η Ε.Ε. για τα πόσιμα ύδατα.

Στα υπόγεια νερά της λεκάνης Ασωπού κι Ωρωπού οι συγκεντρώσεις κυμαίνονται κατά μέσο όρο στα 0,0036mg/l (Γαμβρουλά, 2009), 0,0034 mg/l (Σουλάντζος, 2006), 0,03 mg/l (Ζαχαριάδης, 2005) και 0,111 mg/l (Τζαραμπάρης, 2010).

Στα υπόγεια νερά της λεκάνης Φαρσάλων και Νίκαιας-Λάρισας οι συγκεντρώσεις κυμαίνονται κατά μέσο όρο στα 0,02 mg/l (Stamatis et al. 2008, Stamatis et al. 2011).

Στα υπόγεια νερά της λεκάνης του Πύργου (Δ/κή Πελοπόννησος) οι συγκεντρώσεις κυμαίνονται κατά μέσο όρο στα 0,001 mg/l (Καραπάνος, 2008).

Στα υπόγεια νερά των Νεογενών λεκανών της Θράκης οι συγκεντρώσεις κυμαίνονται κατά μέσο όρο στα 0,0027 mg/l (Παπαδοπούλου-Μουρκίδου, 2002).

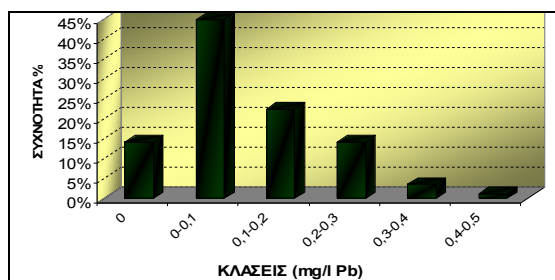
Οι συγκεντρώσεις Μολύβδου στα νερά της περιοχής έχουν μέσο όρο 0,09 mg/l και η πλειοψηφία ανήκει στην κλάση από 0 έως 0,1 mg/l (σχήμα 8.78).

Σε προγενέστερες έρευνες που πραγματοποιήθηκαν στα υπόγεια νερά της λεκάνης των Μεσογείων (Alexakis and Kelepertzis 1998, Χαμπίδη 2005, Γιαννουλόπουλος και Γκιττώνη 2008) οι συγκεντρώσεις βρίσκονται εντός του ορίου ποσιμότητας (<0,05mg/l).

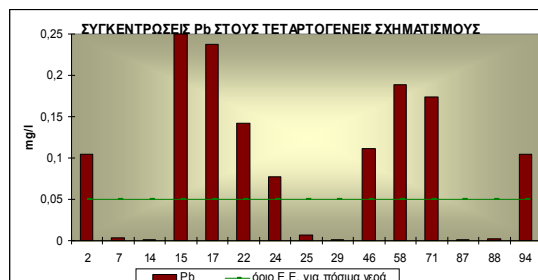
Τα υπόγεια νερά της περιοχής παρουσιάζουν βάσει της λιθολογικής ταξινόμησης τις ακόλουθες συγκεντρώσεις καδμίου:

**α) νερά των τεταρτογενών σχηματισμών:** Οι συγκεντρώσεις μολύβδου στα ύδατα των τεταρτογενών σχηματισμών κυμαίνονται από 0,01 έως 0,25mg/l με μέσο όρο 0,094mg/l (σχήμα 8.79).

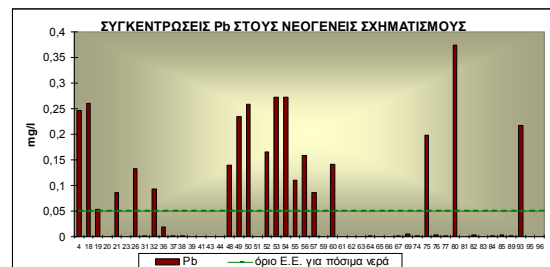
**β) νερά των νεογενών σχηματισμών:** Τα νερά των νεογενών σχηματισμών παρουσιάζουν συγκεντρώσεις μολύβδου που κυμαίνονται από 0 έως 0,374 mg/l με μέσο όρο 0,071mg/l (σχήμα 8.80).



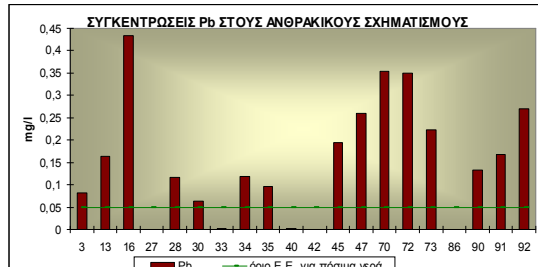
Σχήμα 8.78: Ιστόγραμμα συγκεντρώσεων Pb στα υπόγεια νερά



Σχήμα 8.79: Διάγραμμα συγκεντρώσεων Μολύβδου στα ύδατα των τεταρτογενών σχηματισμών συγκριτικά με το ανώτατο επιτρεπτό όριο της Ε.Ε. για τα πόσιμα νερά (0,05 mg/l).



Σχήμα 8.80: Διάγραμμα συγκεντρώσεων μολύβδου στα ύδατα των νεογενών σχηματισμών συγκριτικά με το ανώτατο επιτρεπτό όριο της Ε.Ε. για τα πόσιμα νερά (0,05 mg/l).



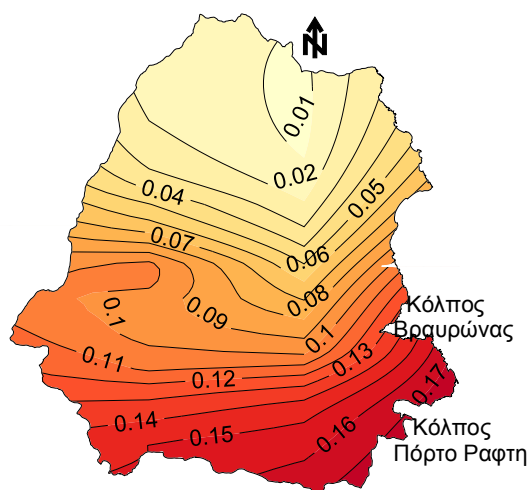
Σχήμα 8.81: Διάγραμμα συγκεντρώσεων μολύβδου στα ύδατα των ανθρακικών σχηματισμών συγκριτικά με το ανώτατο επιτρεπτό όριο της Ε.Ε. για τα πόσιμα νερά (0,05 mg/l).

**γ) νερά των καρστικών ανθρακικών σχηματισμών:** Οι συγκεντρώσεις μολύβδου στα νερά των ανθρακικών σχηματισμών παρουσιάζουν τις υψηλότερες τιμές

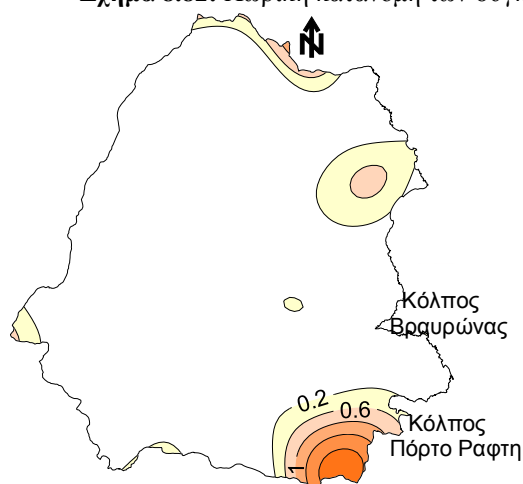


συγκριτικά με αυτές των άλλων σχηματισμών που κυμαίνονται από 0 έως 0,434mg/l και μέσο όρο 0,151mg/l (σχήμα 8.81).

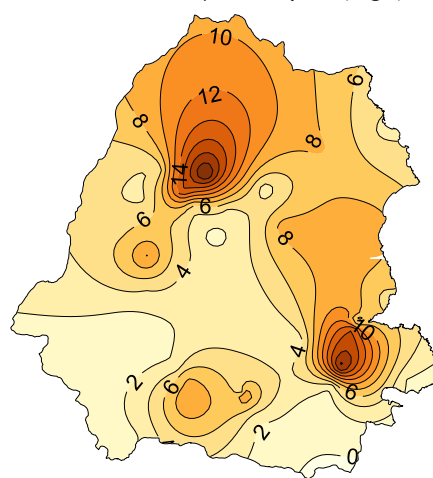
Βασικές πηγές προέλευσης του μολύβδου στην περιοχή είναι η παρουσία του στους μεταμορφωμένους σχηματισμούς και ιδιαίτερα οι σημειακές εμφανίσεις των μικτών θειούχων. Επίσης συνυπάρχει στα οργανικά υλικά των Νεογενών σχηματισμών. Οι συγκεντρώσεις μολύβδου που προσδιορίζονται στην τέφρα των λιγνιτών των διαφόρων λεκανών της Ελλάδος κυμαίνονται μεταξύ 50 και 67ppm στην Πτολεμαΐδα, μεταξύ 56 και 66ppm στη Μεγαλόπολη, μεταξύ 16 και 128ppm στην Φλώρινα, μεταξύ 50 και 119ppm στη Δράμα και μεταξύ 31 και 35ppm στα Ιωάννινα (Foscolos et al. 1989, Foscolos et al. 1998).



**Σχήμα 8.82:** Χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων του Pb των υπόγειων νερών (mg/l)



**Σχήμα 8.83:** Χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων του Pb της υδατοδιαλυτής φάσεως των εδαφικών δειγμάτων (mg/l)



**Σχήμα 8.84:** Χωρική κατανομή των δεσμευμένων μορφών Pb στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών (mg/l)

Η ομοιότητα στις χωρικές κατανομές των συγκεντρώσεων Pb των υπόγειων νερών (Σχ. 8.82), και των αντίστοιχων δεσμευμένων μορφών Pb στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών (σχήμα 8.84) με αυξητική τάση προς το Νοτιοανατολικό τμήμα, αντικατοπτρίζουν την προέλευση του Pb στα υπόγεια νερά από τη διάλυση των σχιστολίθων και των μικτών θειούχων ορυκτών.

#### 8.4.3.7 Νικέλιο (Ni)

Το Ni απαντάται σχεδόν παντού πάνω στη γη, καταλαμβάνοντας περίπου το 0,008% του φλοιού της και κατατάσσεται εικοστό τέταρτο στη συχνότητα εμφάνισης



των στοιχείων στη φύση (Zumdaahl, 1997). Σε μικρές συγκεντρώσεις είναι απαραίτητο στοιχείο για την ανάπτυξη των οργανισμών, σε μεγαλύτερες όμως συγκεντρώσεις γίνεται τοξικό. Απελευθερώνεται στο περιβάλλον κυρίως από το κάρβουνο, τα ορυχεία, τα χυτήρια, την παραγωγή χάλυβα, την ηλεκτρική ενέργεια και το πετρέλαιο (Costa, 2000).

Το νικέλιο βρίσκεται στα μαγματικά πετρώματα με 93,8 mg/kg, στους ψαμμίτες με 2,6 mg/kg, στους αργίλους με 29,4 mg/kg, στα ανθρακικά πετρώματα με 12,8 mg/kg και στους εβαπορίτες με 1,4 mg/kg (Matthess, 1973). Τυπικά εδάφη περιέχουν 10-100 mg Ni/kg.

Στα φυσικά υπόγεια νερά το νικέλιο βρίσκεται στη διασπασμένη μορφή και οι συγκεντρώσεις δεν υπερβαίνουν το 1 mg/l. Στα υπόγεια νερά γεωτρήσεων εκμετάλλευσης πετρελαίου αναφέρονται υψηλές συγκεντρώσεις από 4-40 mgNi/l. Σε μεταλλευτικές περιοχές βρίσκονται συγκεντρώσεις στα νερά μέχρι 4 mg Ni /l. Σε όξινα νερά (pH=1,9) αναφέρονται συγκεντρώσεις Ni μέχρι 319,3 mg/l. (DVWK 1998). Στο πόσιμο νερό αναφέρονται χαμηλές συγκεντρώσεις 2-5 µg/l (Matthess, 1973). Η Ε.Ε. συγκαταλέγει το νικέλιο στις τοξικές ουσίες και θέτει σαν ανώτατο επιτρεπτό όριο τα 50 µg/l, ενώ η ΕΡΑ έχει σαν όριο για το πόσιμο νερό τη διπλάσια τιμή, δηλαδή τα 100 µg/l. Το νικέλιο μπορεί να συσσωρεύεται σε ένα υδάτινο οικοσύστημα αλλά δεν παρατηρείται βιομεγέθυνση μέσω της τροφικής αλυσίδας.

Το νικέλιο είναι ένα απαραίτητο ιχνοστοιχείο στα ανώτερα ζώα και τα μεγαλύτερα ποσοστά εμφανίζονται στους πνεύμονες και τα νεφρά. Η ημερήσια απαίτηση του ανθρώπου σε Ni δεν ξεπερνά τα 100µg. Η ανεπάρκεια Ni στον οργανισμό συνδέεται με χαμηλά επίπεδα γλυκόζης στο αίμα, μη φυσιολογική ανάπτυξη των οστών και γενικότερα μειωμένη ανάπτυξη.

Η τοξικότητα του Ni είναι ιδιαίτερα γνωστή αφού το Ni συγκαταλέγεται στα μέσης τοξικότητας βαρέα μέταλλα (Nieboer & Richardson, 1980). Συνεχής έκθεση σε σκόνη νικελίου μπορεί να προκαλέσει άσθμα και δερματίτιδα, συμπτώματα που μπορεί να χειροτερέψουν αν η διατροφή είναι πλούσια σε Ni. Η υπερβολική συγκέντρωση Ni στα κύτταρα αλλάζει τις ορμονικές και τις ενζυμικές δραστηριότητες και την κίνηση των ιόντων μεταξύ των κυτταρικών μεμβρανών με αποτέλεσμα την αλλαγή της αρτηριακής πίεσης, του ρυθμού ανάπτυξης, της ανάπτυξης των οστών και την ευαισθησία του ανοσοποιητικού συστήματος ([www.tjclarkinc.com/minerals](http://www.tjclarkinc.com/minerals)).

Το νικέλιο χρησιμοποιείται ευρέως στη βιομηχανία, για την παραγωγή μπαταριών, στην μεταλλική επικάλυψη, στην ηλεκτρική επιμετάλλωση αποτελώντας κύριο συστατικό των βιομηχανικών αποβλήτων. Αναφέρονται πολλές περιπτώσεις ρύπανσης των επιφανειακών και υπόγειων νερών με νικέλιο από τα βιομηχανικά απόβλητα εξαιτίας της ευδιαλυτότητας των αλάτων του νικελίου.

Η κυριότερη ανθρωπογενής πηγή ατμοσφαιρικών εκπομπών Ni είναι η καύση ορυκτών καυσίμων, με την οποία απελευθερώνονται παγκοσμίως 26700 τόνοι Ni το έτος. Η περιεκτικότητα Ni στα καυσαέρια του πετρελαίου ανέρχεται στα 500-10.000 mg/l και έχει διαπιστωθεί μια βαθμιαία μεταβολή της συγκέντρωσής του τόσο στο έδαφος, όσο και σε ορισμένα φυτά, ανάλογα με την απόσταση από μεγάλες οδικές αρτηρίες (Alloway, 1995).

Η περιεκτικότητα του Ni στα απόβλητα εξαρτάται από την πηγή προέλευσης των αποβλήτων. Το μεγαλύτερο ποσοστό Ni στα απόβλητα (70%) προέρχεται από τα εργοστάσια γαλβανισμού, αλλά το μέταλλο αυτό υπάρχει και σε πολλά οικιακά απορρυπαντικά επιβαρύνοντας τα αστικά λύματα.

Η ατμοσφαιρική απόθεση από καύση ορυκτών καυσίμων (Eckel et al. 2005, Siegel 2002, Costa 2000) και η προσθήκη λιπασμάτων εμπλουτισμένων με Ni (Eckel et al., 2005, Siegel 2002, Kabata-Pendias and Pendias 1992, [www.lenntech.com/heavy-metals.htm](http://www.lenntech.com/heavy-metals.htm)) μπορεί να εμπλουτίσουν τα υπόγεια νερά με το στοιχείο αυτό.

Σε έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί σε διάφορες λεκάνες της Ελλάδος, οι οποίες αποτελούνται από Νεογενείς σχηματισμούς, η παρουσία του νικελίου στα υπόγεια νερά είναι χαρακτηριστική.

Στα υπόγεια νερά της λεκάνης Ασωπού κι Ωρωπού οι συγκεντρώσεις κυμαίνονται κατά μέσο όρο στα 0,013mg/l (Γαμβρουλά, 2009), 0,051mg/l (Σουλάντζος, 2006), 0,05mg/l (Ζαχαριάδης, 2005) και 0,123mg/l (Τζαραμπάρης, 2010).

Στα υπόγεια νερά της λεκάνης Φαρσάλων και Νίκαιας-Λάρισας οι συγκεντρώσεις κυμαίνονται κατά μέσο όρο στα 0,01 mg/l (Stamatis et al. 2008, Stamatis et al. 2011).

Στα υπόγεια νερά της λεκάνης του Πύργου (Δ/κή Πελοπόννησος) οι συγκεντρώσεις κυμαίνονται κατά μέσο όρο στα 0,0054 mg/l (Καραπάνος, 2008)

Στα υπόγεια νερά των Νεογενών λεκανών της Θράκης οι συγκεντρώσεις κυμαίνονται κατά μέσο όρο στα 0,0013 mg/l (Παπαδοπούλου-Μουρκίδου, 2002).

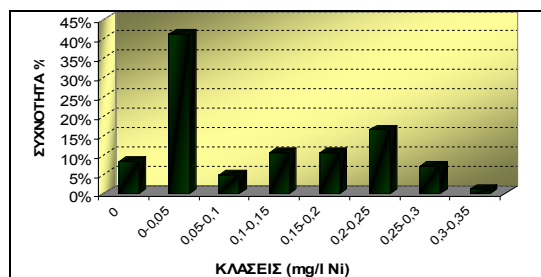
Η κατηγοριοποίηση των συγκεντρώσεων νικελίου των υπόγειων νερών της περιοχής σε κλάσεις φαίνεται στο σχήμα 8.85 ενώ στα σχήματα 8.86, 8.87 και 8.88 παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις νικελίου στα ύδατα των τεταρτογενών, νεογενών και ανθρακικών σχηματισμών αντίστοιχα σε σύγκριση με το ανώτατο όριο της Ε.Ε. για τα πόσιμα νερά. Η κλάση με τη μεγαλύτερη συχνότητα είναι μεταξύ των τιμών 0 και 0,05 mg/l (κάτω από το όριο της Ε.Ε. για τα πόσιμα νερά). Ο μέσος όρος όλων των τιμών είναι 0,10 mg/l.

**α) νερά των τεταρτογενών σχηματισμών:** Οι συγκεντρώσεις νικελίου στα ύδατα των τεταρτογενών σχηματισμών κυμαίνονται από 0 έως 0,275mg/l με μέσο όρο 0,091mg/l (σχήμα 8.86).

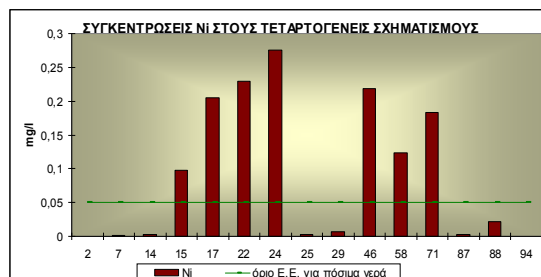
**β) νερά των νεογενών σχηματισμών:** Τα νερά των νεογενών σχηματισμών παρουσιάζουν συγκεντρώσεις νικελίου που κυμαίνονται από 0 έως 0,331 mg/l με μέσο όρο 0,085mg/l (σχήμα 8.87).

**γ) νερά των καρστικών ανθρακικών σχηματισμών:** Οι συγκεντρώσεις νικελίου στα νερά των ανθρακικών σχηματισμών παρουσιάζουν όπως και στο μόλυβδο τις υψηλότερες τιμές συγκριτικά με αυτές των άλλων σχηματισμών και κυμαίνονται από 0 έως 0,297mg/l με μέσο όρο 0,103mg/l (σχήμα 8.88).

Σε προγενέστερη έρευνα που πραγματοποιήθηκε από τους Alexakis and Kelepertzis (1998) και Χαμπίδη (2005) στα υπόγεια νερά της λεκάνης των Μεσογείων οι συγκεντρώσεις νικελίου (0,01mg/l) εντοπίστηκαν εντός του ορίου ποσιμότητας (<0,05mg/l). Εξάιρεση αποτελούν δύο δείγματα στα οποία οι συγκεντρώσεις νικελίου είναι ιδιαίτερα υψηλές: 0,147 και 0,253mg/l (Χαμπίδη, 2005).



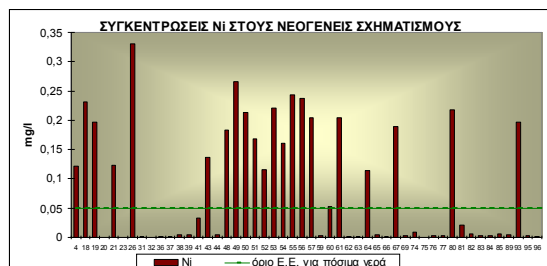
**Σχήμα 8.85:** Ιστόγραμμα συγκεντρώσεων Ni στα υπόγεια νερά



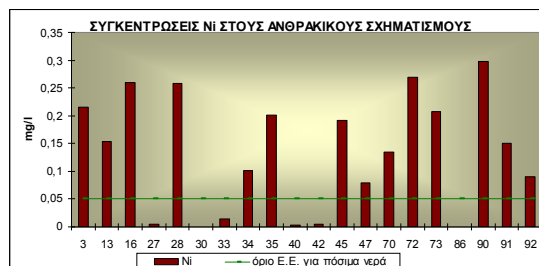
**Σχήμα 8.86:** Διάγραμμα των συγκεντρώσεων Νικελίου στα ύδατα των τεταρτογενών σχηματισμών συγκριτικά με το ανώτατο επιτρεπτό όριο της Ε.Ε. για τα πόσιμα νερά (0,05 mg/l).

Βασικές πηγές προέλευσης του μόλυβδου είναι η παρουσία του στους μεταμορφωμένους σχηματισμούς και ιδιαίτερα οι σημειακές εμφανίσεις των μικτών θειούχων. Επίσης συνυπάρχει στα οργανικά υλικά των Νεογενών σχηματισμών. Το

στοιχείο απαντάται στους εβαπορίτες με 1,4mg/kg (Matthes, 1973). Οι συγκεντρώσεις του νικελίου που προσδιορίζονται στην τέφρα των λιγνιτών των διαφόρων λεκανών της Ελλάδος κυμαίνονται μεταξύ 229 και 651ppm στην Πτολεμαΐδα, μεταξύ 215 και 226ppm στη Μεγαλόπολη, μεταξύ 54 και 198ppm στην Φλώρινα, μεταξύ 57 και 246ppm στη Δράμα και μεταξύ 155 και 227ppm στα Ιωάννινα (Foscolos et al. 1989, Foscolos et al. 1998).

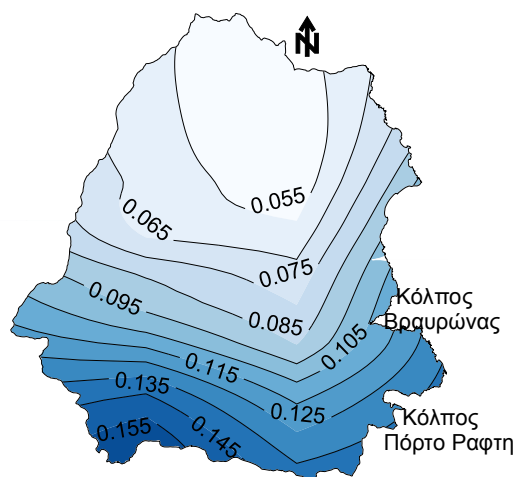


**Σχήμα 8.87:** Διάγραμμα των συγκεντρώσεων Νικελίου στα ύδατα των νεογενών σχηματισμών συγκριτικά με το ανώτατο επιτρεπτό όριο της Ε.Ε. για τα πόσιμα νερά (0,05 mg/l).

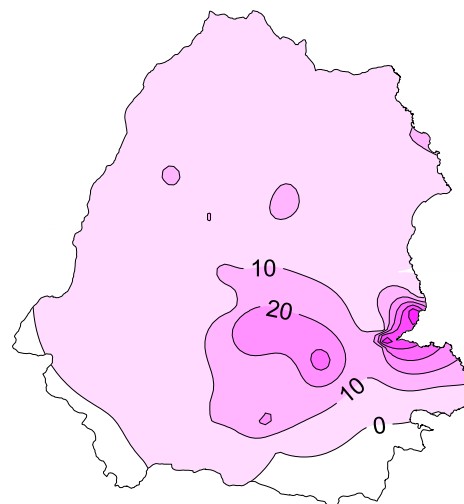


**Σχήμα 8.88:** Διάγραμμα των συγκεντρώσεων Νικελίου στα ύδατα των ανθρακικών σχηματισμών συγκριτικά με το ανώτατο επιτρεπτό όριο της Ε.Ε. για τα πόσιμα νερά (0,05 mg/l).

Η χωρική κατανομή των βαρέων μετάλλων νικελίου των υπόγειων νερών της περιοχής (σχήμα 8.89) παρουσιάζει αυξητική τάση προς το νότιο τμήμα κυρίως λόγω γεωγενών παραγόντων (διάλυση των οφιολιθικών σωμάτων, σχιστολίθων και μικτών θειούχων ορυκτών). Η κατανομή παρουσιάζει ομοιότητα με την αντίστοιχη των δεσμευμένων μορφών στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών (Σχ. 8.90), όσον αφορά την αυξητική τάση προς το Νοτιοανατολικό τμήμα. Οι μηδενικές συγκεντρώσεις νικελίου στις υδατοδιαλυτές μορφές του εδάφους ενισχύουν τη γεωγενή προέλευση των συγκεντρώσεων Ni στα υπόγεια ύδατα.



**Σχήμα 8.89:** Χωρική κατανομή Ni στα υπόγεια ύδατα της περιοχής (mg/l)



**Σχήμα 8.90:** Χωρική κατανομή των δεσμευμένων μορφών Ni στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών (mg/l)

#### 8.4.3.8 Κοβάλτιο (Co)

Το κοβάλτιο (Co) βρίσκεται κυρίως στα μαγματικά πετρώματα σε 23 mg/kg και ιδιαίτερα στα υπερβασικά πετρώματα και στις μεταλλοφόρες περιοχές μαζί με άλλα μέταλλα. Στα ιζήματα βρίσκεται σε ίχνη (>8,0 mg/kg) και στο θαλασσινό νερό 0,00039 mg/l (Matthes 1973).

Οι μόνες σημαντικές πηγές κοβαλτίου στα εδάφη είναι:

- ◆ τα μητρικά υλικά από τα οποία προέρχονται τα εδάφη και
- ◆ οι σκόπιμες εισροές αλάτων κοβαλτίου ή φωσφορικών λιπασμάτων που είναι εμπλουτισμένα με κοβάλτιο.

Χρησιμοποιείται ευρύτατα στην ηλεκτρική επιμετάλλωση, όπως το νικέλιο και απαντάται σε υψηλές συγκεντρώσεις στα βιομηχανικά απόβλητα και στους φυσικούς αποδέκτες. Χρησιμοποιείται για την επικάλυψη και προστασία διάφορων μετάλλων (επικοβαλτίωση) όπως οι μαγνήτες κι ο στελλίτης που χρησιμοποιείται για την κατασκευή εργαλείων, μαχαιριών κλπ. εξαιτίας της μεγάλης σκληρότητάς του (Alloway, 1995). Το κοβάλτιο υπάρχει σε αφθονία και χρησιμοποιείται για την κατασκευή ειδικών μετάλλων (ατσαλιού), ενώ έχει χρησιμοποιηθεί για αιώνες στην κατασκευή μπλε χρωστικών και γυαλιού. Το κοβάλτιο έχει ουσιαστικό ρόλο στους ζώντες οργανισμούς καθώς επηρεάζει διάφορους μικροοργανισμούς καθώς και θηλαστικά ζώα (Alloway, 1995).

Το κοβάλτιο δεν θεωρείται απαραίτητο ιχνοστοιχείο για τον ανθρώπινο οργανισμό και συγκαταλέγεται απ' την E.E. στις ανεπιθύμητες ουσίες. Έχει διαπιστωθεί ότι η παροχή Co σε ανθρώπους για θεραπευτικούς σκοπούς αυξάνει τη χοληστερίνη στο αίμα, ενώ δεν αποκλείεται να παίζει ρόλο στην εμφάνιση της αρτηριοσκλήρωσης και της καρκινογένεσης. Η χρόνια λήψη Co σε μικρές συγκεντρώσεις προκαλεί καρδιαγγειακές παθήσεις. Ευπαθείς ομάδες πληθυσμού θεωρούνται όσοι καταναλώνουν μεγάλες ποσότητες μπύρας, καθόσον το θειικό κοβάλτιο προστίθεται στην παραγωγή μπύρας για την βελτίωση της σταθερότητας του αφρού. Θανατηφόρα περιστατικά, που συνδέονται με την παρουσία Co στην μπύρα, έχουν αναφερθεί από τον Καναδά και το Βέλγιο (DVWK, 1998).

Η συνιστώμενη ημερήσια κατανάλωση Co είναι σύμφωνα με τον WHO (1973) 1mg. Για το νερό άρδευσης η μέγιστη επιτρεπόμενη συγκέντρωση είναι τα 50 µg/l ενώ δεν δίνονται απ' την E.E. ανώτατα επιτρεπτά όρια για το πόσιμο νερό. Το Co απαντάται συνήθως με την δισθενή μορφή του. Το  $\text{Co}(\text{OH})_2$  διαλύεται εύκολα, όπως η ένωση  $\text{Fe}(\text{OH})_2$ . Το Co προσροφάται από τα κolloειδή υδροξείδια του Fe και Mn και γι' αυτό η συγκέντρωση του στο υπόγειο νερό εμφανίζεται μόνον σε ίχνη. Σε μεταλλοφόρες περιοχές εμφανίζονται τιμές μέχρι και 20 µg/l.

Όσον αφορά τη συμμετοχή του στη περιβαλλοντική μόλυνση, αυτή είναι σχετικά ασήμαντη αναλογικά με την επιβάρυνση που προκαλούν τα υπόλοιπα βαρέα μέταλλα. Το κοβάλτιο μπορεί να προέρχεται και από τα λιπάσματα αλλά και από την κατακρήμνιση των προϊόντων καύσεως παραγώγων του πετρελαίου (Pacyna 1995, Kabata-Pendias & Mukherjee, 2007, Matthes 1973, Siegel, 2002).

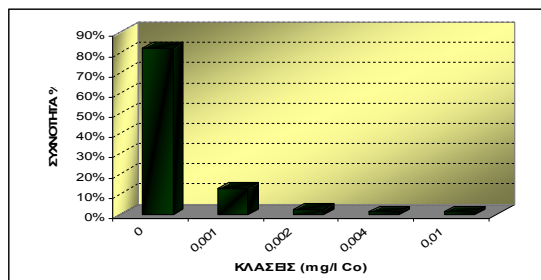
Σε έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί σε διάφορες λεκάνες της Ελλάδος, οι οποίες αποτελούνται από Νεογενείς σχηματισμούς, η παρουσία του κοβαλτίου στα υπόγεια νερά παρουσιάζει επίσης ελάχιστες συγκεντρώσεις.

Στα υπόγεια νερά της λεκάνης Ασωπού οι συγκεντρώσεις κυμαίνονται μεταξύ 0,153ppb (Γαμβρουλά, 2009) και 0,0089ppm (Τζαραμπάρης, 2010).

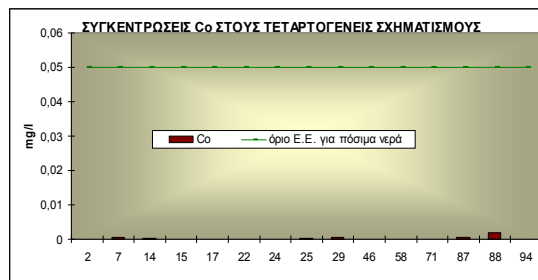
Στα υπόγεια νερά της λεκάνης Φαρσάλων και Νίκαιας-Λάρισας οι συγκεντρώσεις βρέθηκαν μηδενικές (Stamatis et al. 2008, Stamatis et al. 2011) ενώ στα υπόγεια νερά της λεκάνης του Πύργου (Δ/κή Πελοπόννησος) οι συγκεντρώσεις κυμαίνονται κατά μέσο όρο στα 0,44ppb (Καραπάνος, 2008).

Το Co προσροφάται από τα κolloειδή υδροξείδια του σιδήρου και μαγγανίου και γι' αυτό η συγκέντρωση του στα υπόγεια νερά της περιοχής εμφανίζεται μόνον σε ίχνη (σχήματα 8.91 -8.94, μέσος όρος 0,0004 mg/l). Η υψηλότερη συγκέντρωση (0,01mg/l) παρατηρείται στο πηγάδι Νο 42 των ανθρακικών σχηματισμών. Η κλάση με τη μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης είναι η μηδενική (σχήμα 8.91).

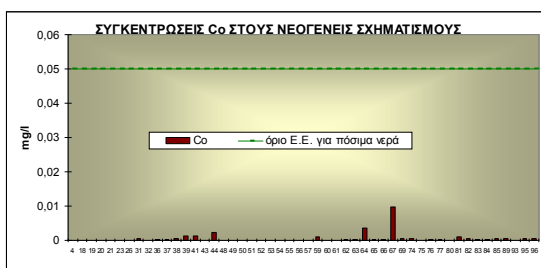
Προγενέστερες έρευνες, έδειξαν την απουσία (Alexakis & Kelepertsis, 1998) ή την παρουσία Co σε ίχνη (<0,059mg/l – Χαμπίδη, 2005) στα υπόγεια νερά της περιοχής έρευνας.



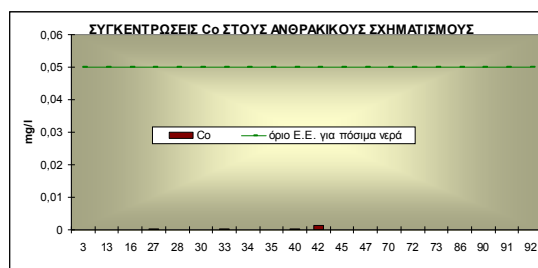
**Σχήμα 8.91:** Ιστόγραμμα συγκεντρώσεων Co στα υπόγεια νερά



**Σχήμα 8.92:** Διάγραμμα των συγκεντρώσεων Co στα ύδατα των τεταρτογενών σχηματισμών συγκριτικά με το ανώτατο επιτρεπτό όριο της Ε.Ε. για τα πόσιμα νερά (0,05 mg/l).



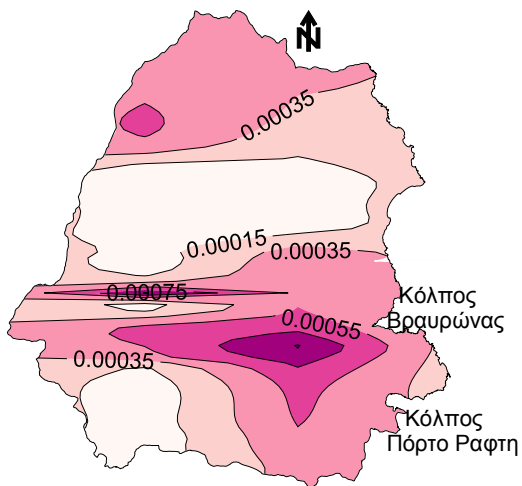
**Σχήμα 8.93:** Διάγραμμα των συγκεντρώσεων Co στα ύδατα των νεογενών σχηματισμών συγκριτικά με το ανώτατο επιτρεπτό όριο της Ε.Ε. για τα πόσιμα νερά (0,05 mg/l).



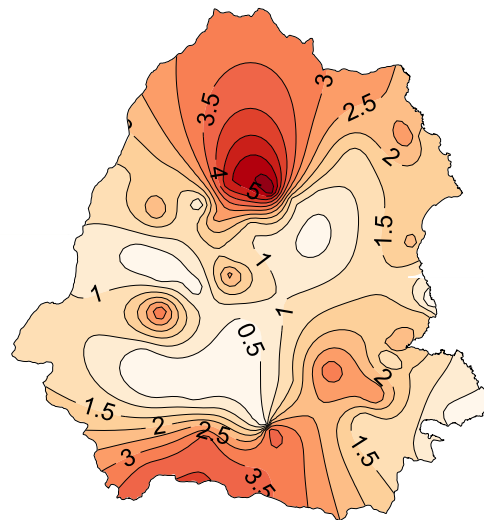
**Σχήμα 8.94:** Διάγραμμα των συγκεντρώσεων Co στα ύδατα των ανθρακικών σχηματισμών συγκριτικά με το ανώτατο επιτρεπτό όριο της Ε.Ε. για τα πόσιμα νερά (0,05 mg/l).

Οι συγκεντρώσεις κοβαλτίου στην περιοχή έρευνας αποδίδονται κυρίως σε γεωγενείς παράγοντες. Βασικές πηγές προέλευσης του κοβαλτίου είναι η παρουσία του στους μεταμορφωμένους σχηματισμούς και ιδιαίτερα οι σημειακές εμφανίσεις των μικτών θειούχων. Επίσης συνυπάρχει στα οργανικά υλικά των Νεογενών σχηματισμών. Οι συγκεντρώσεις του κοβαλτίου που προσδιορίζονται στην τέφρα των λιγνιτών των διαφόρων λεκανών της Ελλάδος κυμαίνονται μεταξύ 18 και 35ppm στην Πτολεμαΐδα, μεταξύ 25 και 53ppm στη Μεγαλόπολη, μεταξύ 15 και 53ppm στην Φλώρινα, μεταξύ 9 και 25ppm στη Δράμα και μεταξύ 13 και 48ppm στα Ιωάννινα (Foscolos et al., 1989,1998).

Η χωρική κατανομή του κοβαλτίου στα υπόγεια νερά της περιοχής (σχήμα 8. 95) παρουσιάζει ομοιότητα με την αντίστοιχη των δεσμευμένων μορφών στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών (Σχ. 8.96). Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με τις μηδενικές συγκεντρώσεις στις υδατοδιαλυτές μορφές του εδάφους ενισχύουν τη γεωγενή προέλευση των συγκεντρώσεων Co στα υπόγεια ύδατα. Η κατανομή του κοβαλτίου είναι σχεδόν συγκρίσιμη με αυτή του ψευδαργύρου (Σχήμα 8.68).



**Σχήμα 8.95:** Χωρική κατανομή Co στα υπόγεια ύδατα της περιοχής (mg/l)



**Σχήμα 8.96:** Χωρική κατανομή των δεσμευμένων μορφών Co στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών (mg/l)

#### 8.4.3.9 Χρώμιο ολικό (Cr)

Το χρώμιο είναι ένα γκριζόχρωμο και εύθραυστο μέταλλο που μπορεί να προκαλέσει μεγάλη ρύπανση. Απαντάται στην τρισθενή ( $\text{Cr}^{3+}$ ) κι εξασθενή μορφή ( $\text{Cr}^{6+}$ ) με τη δεύτερη μορφή να είναι πιο σταθερή. Στα ανώτερα θηλαστικά επικρατεί η τρισθενής μορφή και βρίσκεται σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις στο συκώτι, τα νεφρά, τη σπλήνα και τα οστά. Παράγεται από το ορυκτό χρωμίτη ( $\text{FeO}\cdot\text{Cr}_2\text{O}_3$ ). Απ' τους 10.000.000 τόνους χρωμίου που παράγονται ετησίως, το 60-70% χρησιμοποιείται στη μεταλλουργία, συμπεριλαμβανομένου και του ανοξειδωτού ατσάλιου που περιέχει σε διάφορα ποσοστά Fe, Cr και Ni. Είναι το 7<sup>ο</sup> πιο σπάνιο στοιχείο στη γη. Κατά μέσο όρο βρίσκεται στους ασβεστόλιθους σε συγκεντρώσεις 10mg/kg, στα αμμώδη εδάφη σε 35 mg/kg, στους βασάλτες 200 mg/kg, στους γρανίτες 20 mg/kg και στους σχιστόλιθους 120mg/kg.

Σε μικρές ποσότητες παίζει σημαντικό ρόλο στον ανθρώπινο μεταβολισμό. Βοηθά την ινσουλίνη στο μεταβολισμό των σακχάρων, καθαρίζει τις αρτηρίες μειώνοντας τα επίπεδα χοληστερόλης και τριγλυκιδίων, μεταφέρει τα απαραίτητα αμινοξέα σε ιστούς κ.α. Άτομα με χαμηλά επίπεδα Χρωμίου στο σώμα τους είναι πιο επιρρεπή σε καρδιακά προβλήματα, στον καρκίνο και το διαβήτη. Ωστόσο, περίσσεια Χρωμίου στον άνθρωπο μπορεί να οδηγήσει σε μείωση της καλής χοληστερόλης και την αύξηση της κακής, σε δυσκολία συγκράτησης γλυκόζης στους διαβητικούς, σε αρτηριοσκλήρυνση, καρδιακές παθήσεις, μειωμένη ανάπτυξη, παχυσαρκία, ατονία.

Η ασφαλής ημερήσια κατανάλωση Χρωμίου από έναν ενήλικα κυμαίνεται στα 50-200μg. Το Cr βρίσκεται σε πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις σε πουλερικά, κρέας και ψάρια ενώ πιο πλούσια σε χρώμιο είναι τα φρούτα, τα λαχανικά, σπόροι και δημητριακά. Πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στο σερβίτσιο φαγητού διότι τα ανοξειδωτα μαχαιροπήρουνα αυξάνουν την συγκέντρωση Cr ιδιαίτερα όταν το φαγητό είναι όξινο. Αυτό μπορεί να συμβεί και σε μη κατάλληλους σωλήνες υδροδότησης (Alloway, 1995).

Υψηλές ποσότητες χρωμίου προκαλούν τοξικότητα. Η τοξικότητα συνήθως λαμβάνει χώρα κάτω από έκθεση σε εξασθενές χρώμιο ( $\text{Cr}^{6+}$ ) σε βιομηχανικά απόβλητα. Τα παράγωγα του εξασθενούς χρωμίου είναι καρκινογόνα. Αντίθετα το τρισθενές Cr θεωρείται ένα απ' τα λιγότερο τοξικά στοιχεία. Το όξινο περιβάλλον του



στομάχου του ανθρώπου συμβάλλει στη μείωση του  $Cr^{6+}$  μετατρέποντάς το σε  $Cr^{3+}$  που είναι σαφώς λιγότερο τοξικό ([www.tjclarkinc.com/minerals](http://www.tjclarkinc.com/minerals)).

Το χρώμιο είναι ανθεκτικό στην οξείδωση και τη μηχανική φθορά γι αυτό και χρησιμοποιείται ευρέως στη βιομηχανία. Βρίσκει εφαρμογή στη μεταλλουργία, στη βυρσοδεψία, στις βαφές και τα συντηρητικά ξύλου. Σημαντική πηγή χρωμίου στο έδαφος αποτελούν και τα αγροχημικά (Alloway 1995, Siegel 2002, Kabata-Pendias and Pendias 1992, [www.lenntech.com/heavy-metals.htm](http://www.lenntech.com/heavy-metals.htm)), όπως φαίνεται στον πίνακα 8.19 (Alloway, 1995).

**Πίνακας 8.19** :Συγκεντρώσεις Cr από την εφαρμογή προσθετικών βελτιωτικών εδάφους σε mg/kg (Alloway, 1995)

ΛΙΠΑΣΜΑΤΑ	Cr	ΚΟΠΡΙΑ ΖΩΩΝ	Cr
Αζωτούχα	tr-50	Βοειδών	20-31
Φωσφορούχα	tr-1000	πουλερικών	6,00
Καλιούχα	tr-1000	χοιρινών	14,00
Μικτά	tr-900	φάρμας	12,00
ασβέστης	tr-300	αγελάδων	56,00

Η ατμοσφαιρική απόθεση του χρωμίου είναι μικρότερη συγκριτικά με τις ποσότητες που δέχονται τα εδάφη μέσω της γεωργίας (Siegel, 2002). Ωστόσο είναι σημαντικό ν' αναφερθεί ότι συγκεντρώσεις χρωμίου μεταφέρονται με τη μορφή τεμαχιδίων από μεταλλουργικά εργοστάσια (Alloway, 1995) όπως:

- Καύση άνθρακα:  $2,92-19,63 \cdot 10^3$  tn/year
- Καύση πετρελαίου:  $0,45-2,37 \cdot 10^3$  tn/year
- Παραγωγή ατσαλιού και σίδηρου:  $2,84-28,4 \cdot 10^3$  tn/year
- Παραγωγή τσιμέντου:  $0,89-1,78 \cdot 10^3$  tn/year

Σε έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί σε διάφορες λεκάνες της Ελλάδος, οι οποίες αποτελούνται από Νεογενείς σχηματισμούς, η παρουσία του χρωμίου εντοπίζεται με χαμηλότερες συγκεντρώσεις.

Στα υπόγεια νερά της λεκάνης Ασωπού οι συγκεντρώσεις κυμαίνονται μεταξύ 0,0051 (Γαμβρούλα, 2009) και 0,0543 ppm (Τζαραμπάρης, 2010).

Στα υπόγεια νερά της λεκάνης Φαρσάλων και Νίκαιας-Λάρισας οι συγκεντρώσεις κυμαίνονται κατά μέσο όρο στα 0,05ppm (Stamatis et al. 2008, Stamatis et al. 2011).

Στα υπόγεια νερά της λεκάνης του Πύργου (Δ/κή Πελοπόννησος) οι συγκεντρώσεις κυμαίνονται κατά μέσο όρο στα 0,0033ppm (Καραπάνος, 2008).

Τ' αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων δείχνουν ότι τα νερά της περιοχής περιέχουν ιδιαίτερα υψηλές ποσότητες χρωμίου (σχήματα 8.97-8.100) που κυμαίνονται από 0 έως 0,64 mg/l. Η πλειοψηφία των τιμών παρατηρείται στην κλάση από 0 έως 0,02 mg/l (σχήμα 8.97).

**α) νερά των τεταρτογενών σχηματισμών:** Οι συγκεντρώσεις χρωμίου στα ύδατα των τεταρτογενών σχηματισμών κυμαίνονται από 0 έως 0,641mg/l με μέσο όρο 0,169mg/l (σχήμα 8.98).

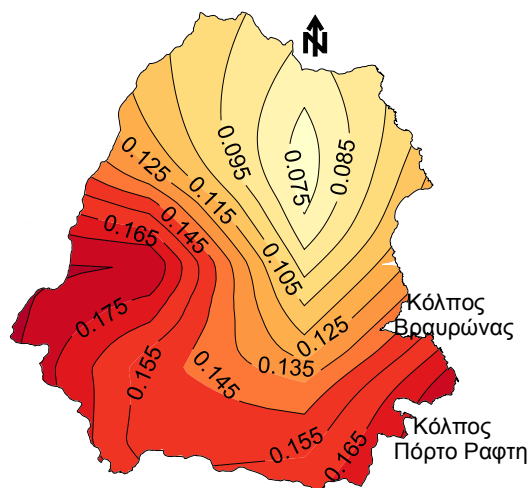
**β) νερά των νεογενών σχηματισμών:** Τα νερά των νεογενών σχηματισμών παρουσιάζουν συγκεντρώσεις χρωμίου που κυμαίνονται από 0 έως 0,702 mg/l με μέσο όρο 0,097mg/l (σχήμα 8.99).

**γ) νερά των καρστικών ανθρακικών σχηματισμών:** Οι συγκεντρώσεις χρωμίου στα νερά των ανθρακικών σχηματισμών παρουσιάζουν τον υψηλότερο μέσο όρο (0,216mg/l) συγκριτικά με αυτόν των άλλων σχηματισμών και κυμαίνονται από 0 έως 0,612mg/l (σχήμα 8.100).





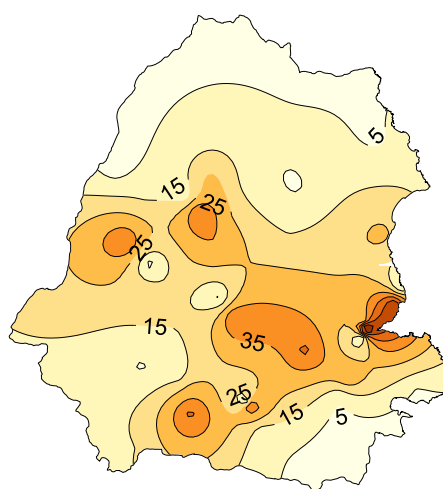
διαπιστωθεί κι από προηγούμενες έρευνες αυξημένες συγκεντρώσεις χρωμίου στα υπόγεια νερά (ΥΠΕΧΩΔΕ 2005, Γιαννουλόπουλος και Γκιντώνη, 2008). Γενικά δεν παρατηρείται συσχέτιση της κατανομής του χρωμίου μεταξύ των υπόγειων νερών και των υδατοδιαλυτών μορφών του στα εδάφη (Σχ. 8.102) ενισχύοντας τη γεωγενή προέλευση των συγκεντρώσεων χρωμίου στα ύδατα.



Σχήμα 8.101: Χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων του Cr<sub>ολ</sub> των υπόγειων νερών (mg/l)



Σχήμα 8.102: Χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων του Cr<sub>ολ</sub> της υδατοδιαλυτής φάσεως των εδαφικών δειγμάτων (mg/l)



Σχήμα 8.103: Χωρική κατανομή των δεσμευμένων μορφών Cr<sub>ολ</sub> στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών (mg/l)

#### 8.4.3.10 Στρόντιο (Sr)

Το στρόντιο Sr<sup>2+</sup>, ανήκει στην υποομάδα των γαιοαλκαλικών μετάλλων κι η ονομασία του προέρχεται από την πόλη Strontian της Σκωτίας όπου πρωτοανακαλύφθηκε. Αποτελεί το 0,04% του γήινου φλοιού. Είναι μέταλλο αργυρόλευκο, τήκεται στους 757°C, βράζει στους 1.366°C, είναι αρκετά μαλακό και αρκετά δραστικό. Στον αέρα κιτρινίζει σχηματίζοντας οξειδίο, αντιδρά με τα αλογόνα, με το υδρογόνο, με τον φώσφορο και με το θείο. Έχει ατομικό αριθμό 38, ατομικό βάρος 87,63 και τέσσερα σταθερά ισότοπα και δεν θεωρείται ρυπαντικό στοιχείο.

Το Sr<sup>2+</sup> δεν είναι πολύ διαδομένο στη φύση (αποτελεί το 0,02% του γήινου φλοιού), δεν βρίσκεται σε ελεύθερη κατάσταση, αλλά υπό μορφή ένωσης στο σελεστίνη (SrSO<sub>4</sub>) και στο στροντιανίτη (SrCO<sub>3</sub>) (Kabata-Pendias and Mukherjee, 2007). Το ανθρακικό στρόντιο (SrCO<sub>3</sub>), που βρίσκεται στη φύση ως στροντιανίτης,

χρησιμοποιείται στην υαλουργία (ειδικοί ύαλοι, λυχνίες, οθόνες τηλεόρασης κλπ), επειδή προσδίδει στο γυαλί βαθυκόκκινους ιριδισμούς ([www.chem.uoa.gr](http://www.chem.uoa.gr)).

Στην φύση βρίσκεται πάντα με τη μορφή του σελεστίνη ή του στροντιανίτη. Το στοιχείο απομονωμένο, στη μορφή του ασταθούς ισότοπου Sr-90, αποτελεί μεγάλο κίνδυνο για τη δημόσια υγεία σε ραδιενεργή έκθεση. Ωστόσο, το ισότοπο αυτό έχει χρησιμοποιηθεί για τη θεραπεία του καρκίνου των οστών ([www.atomixinc.com](http://www.atomixinc.com)).

Σε έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί σε διάφορες λεκάνες της Ελλάδος, οι οποίες αποτελούνται από Νεογενείς σχηματισμούς, η παρουσία του χρωμίου στα υπόγεια νερά είναι χαρακτηριστική.

Στα υπόγεια νερά της λεκάνης Ωρωπού οι συγκεντρώσεις κυμαίνονται κατά μέσο όρο στα 1,95ppm (Ζαχαριάδης, 2006).

Στα υπόγεια νερά της λεκάνης του Πύργου (Δ/κή Πελοπόννησος) οι συγκεντρώσεις κυμαίνονται κατά μέσο όρο στα 0,95ppm (Καραπάνος 2008).

Η στατιστική επεξεργασία στο σύνολο των δειγμάτων δείχνει μια ομοιόμορφη κατανομή με θετική ασυμμετρία (σχήμα 8.104) και μέσο όρο τιμών γύρω στα 2,20mg/l. Οι τιμές κυμαίνονται από 0,27 mg/l έως 7,24mg/l. Οι συγκεντρώσεις Στροντίου στα νερά της περιοχής είναι ιδιαίτερα υψηλές (σχήματα 8.104-8.107) με τις μέγιστες τιμές να εμφανίζονται στους τεταρτογενείς σχηματισμούς.

**α) νερά των τεταρτογενών σχηματισμών:** Οι συγκεντρώσεις στροντίου στα ύδατα των τεταρτογενών σχηματισμών κυμαίνονται από 0,522 έως 5,343 mg/l με μέσο όρο 2,453 mg/l (σχήμα 8.105).

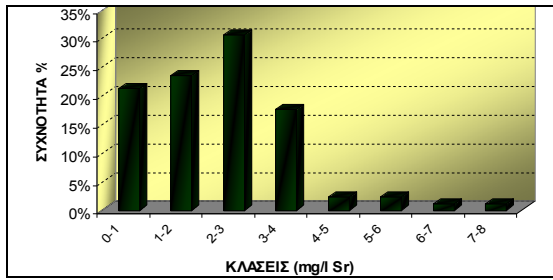
**β) νερά των νεογενών σχηματισμών:** Τα νερά των νεογενών σχηματισμών παρουσιάζουν συγκεντρώσεις στροντίου που κυμαίνονται από 0,27 έως 6,18 mg/l με μέσο όρο 2,179 mg/l (σχήμα 8.106).

**γ) νερά των καρστικών ανθρακικών σχηματισμών:** Οι συγκεντρώσεις στροντίου στα νερά των ανθρακικών σχηματισμών παρουσιάζουν τον μικρότερο μέσο όρο (2,042mg/l) συγκριτικά με αυτόν των άλλων σχηματισμών και κυμαίνονται από 0,392 έως 7,24 mg/l (σχήμα 8.107).

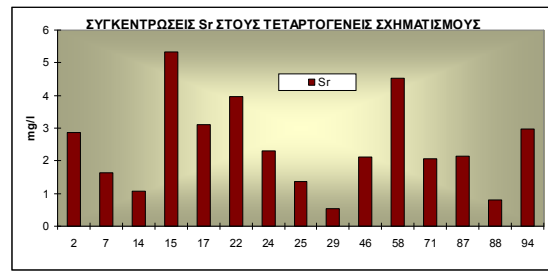
Σε προγενέστερη έρευνα που πραγματοποιήθηκε στα υπόγεια νερά της λεκάνης των Μεσογείων από τους Alexakis and Kelepertzis (1998) οι συγκεντρώσεις στροντίου βρέθηκαν πολύ χαμηλότερες, κατά μέσο όρο 0,94ppm.

Η παρουσία του Sr είναι έντονη στα υπόγεια ύδατα της περιοχής, κάτι που πιθανότατα οφείλεται στη σύνδεση αυτού με τα ασβεστιτικά πετρώματα στο γεωλογικό υπόβαθρο (Kabata-Pendias and Mukherjee, 2007, Zavarin 1997). Σε μικρότερες συγκεντρώσεις μπορεί να προέρχεται από ανθρωπογενείς δραστηριότητες όπως τα λιπάσματα (φωσφορούχα, ασβέστης, κοπριά) και τα απόβλητα (Kabata-Pendias and Pendias, 1992).

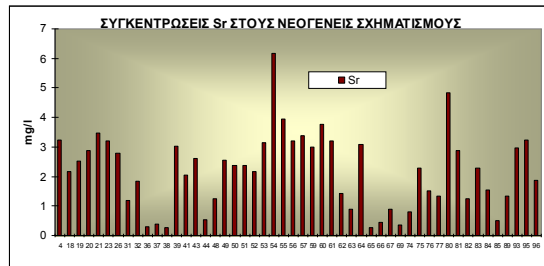
Βασικές πηγές προέλευσης του Sr είναι η παρουσία του στους Νεογενείς σχηματισμούς που εμφανίζονται στην περιοχή. Επίσης συνυπάρχει στα οργανικά υλικά των Νεογενών σχηματισμών. συγκεντρώσεις του στροντίου που προσδιορίζονται στην τέφρα των λιγνιτών των διαφόρων λεκανών της Ελλάδος κυμαίνονται μεταξύ 239 και 705ppm στην Πτολεμαΐδα, μεταξύ 239 και 549ppm στη Μεγαλόπολη, μεταξύ 423 και 485ppm στην Φλώρινα, μεταξύ 90 και 332ppm στη Δράμα και μεταξύ 843 και 1.155ppm στα Ιωάννινα (Foscolos et al., 1989,1998).



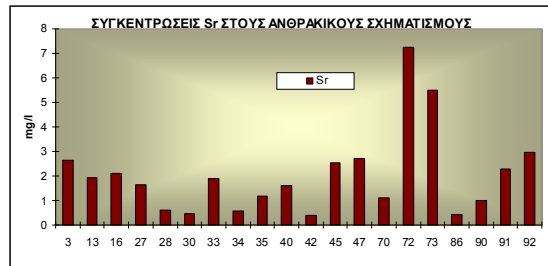
Σχήμα 8.104: Ιστόγραμμα συγκεντρώσεων Sr στα υπόγεια νερά



Σχήμα 8.105: Διάγραμμα των συγκεντρώσεων Sr στα ύδατα των τεταρτογενών σχηματισμών της περιοχής.

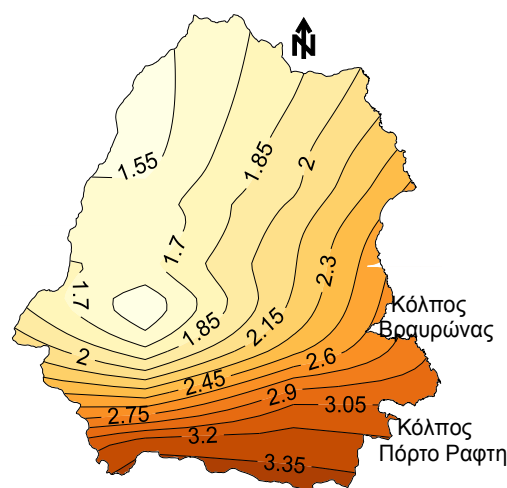


Σχήμα 8.106: Διάγραμμα των συγκεντρώσεων Sr στα ύδατα των νεογενών σχηματισμών της περιοχής.



Σχήμα 8.107: Διάγραμμα των συγκεντρώσεων Sr στα ύδατα των ανθρακικών σχηματισμών.

Στο σχήμα 8.108 παρουσιάζεται η χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων του Sr των υπόγειων νερών. Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις κατανέμονται στο νότιο και ανατολικό τμήμα, ενώ αντίθετα οι χαμηλότερες τιμές εντοπίζονται στα δυτικά και βορειοδυτικά τμήματα της περιοχής. Η κατανομή του Sr συνδυάζεται με την ανάπτυξη των Νεογενών σχηματισμών (Kabata-Pendias and Mukherjee 2007, Zavarin 1997). Προφανώς η παρουσία σελεστίνη ( $\text{SrSO}_4$ ) και στροντιανίτη ( $\text{SrCO}_3$ ) στους Νεογενείς σχηματισμούς συμβάλλει στον εμπλουτισμό των υπόγειων υδάτων. Πιθανόν οι υψηλές συγκεντρώσεις στροντίου στις καλλιεργούμενες περιοχές να αποδίδονται σε ανθρωπογενείς δραστηριότητες όπως η εφαρμογή λιπασμάτων (Kabata-Pendias and Pendias, 1992).



Σχήμα 8.108: Χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων του Sr των υπόγειων νερών (mg/l)

## 8.5 Επιφανειακά νερά

### 8.5.1 Γενικά

Τα φυσικά υδάτινα ρεύματα ή αλλιώς ποτάμια δημιουργούνται από την επίδραση του νερού πάνω στους διάφορους επιφανειακούς γεωλογικούς σχηματισμούς. Τα πιο χαλαρά πετρώματα αποσαθρώνονται πιο εύκολα με αποτέλεσμα να δημιουργούν το κατάλληλο υπόβαθρο για τη δημιουργία ρεμάτων. Οι ποταμοί μαζί με τους παραποτάμους τους αποτελούν ενιαία δυναμικά συστήματα. Μεταφέρουν αποκλειστικά προς μία κατεύθυνση σημαντικές ποσότητες υδάτων και διαλυμένων ουσιών φυσικής και ανθρωπογενούς προέλευσης (Darby et al., 1986). Τα νερά προέρχονται είτε από άμεσες κατακρημνίσεις και λιώσιμο χιονιού και πάγου, είτε είναι νερά στράγγισης εδαφών και εκροής υπόγειων υδροφόρων συστημάτων. Τα μετακινούμενα ύδατα υπόκεινται σε διαρκείς χημικές, βιολογικές και φυσικές αλλαγές που μπορούν να αλλάξουν σε μεγάλο βαθμό τα δεδομένα μιας περιοχής (Admiral and Van Zanten, 1988). Οι παράγοντες που επηρεάζουν την χημική σύσταση των επιφανειακών υδάτων είναι το κλίμα, η λιθολογία, τα εδάφη και τα ιζήματα, η γεωμορφολογία της λεκάνης απορροής, η υδρολογία, η ρύπανση, η βιολογική δραστηριότητα του ποταμού και η σύνθεση των κατακρημνισμάτων (Skoulikidis, 1993). Η κατάσταση των υδάτων σε κάθε σημείο του ποταμού μπορεί να διαφέρει γιατί επηρεάζεται από τις τοπικές συνθήκες του περιβάλλοντος, όπως η εδαφολογία, η κλιματολογία, η ατμόσφαιρα κι οι ανθρωπογενείς επιδράσεις (Briccker and Jones, 1995).

Οι ανθρωπογενείς επιδράσεις στα επιφανειακά ύδατα αφορούν κυρίως αγροτικές δραστηριότητες που προκαλούν μη σημειακές (διάχυτες) πηγές ρύπανσης και βιομηχανικά ή αστικά λύματα που προκαλούν σημειακές πηγές ρύπανσης. Η γεωργία αποτελεί τη μεγαλύτερη πηγή ρύπανσης των υδάτινων, επιφανειακών και υπόγειων οικοσυστημάτων (Vinten et al., 1991). Οι κυριότεροι γεωργικοί ρύποι είναι οι αζωτούχες και φωσφορικές ενώσεις προερχόμενες από τα λιπάσματα, τις οργανικές ύλες και τις κοπριές που με τη διάβρωση των εδαφών και την επιφανειακή απορροή του νερού καταλήγουν στη ρύπανση των επιφανειακών υδατοσυστημάτων. Δευτερεύοντες γεωργικούς ρύπους αποτελούν τα φυτοφάρμακα, τα οποία εισρέουν στα επιφανειακά υδατοσυστήματα είτε άμεσα με την απορροή διάβρωσης εδαφών, είτε έμμεσα με την κατακρήμιση οργανικών ρύπων με το νερό της βροχής (Charizopoulos and Papadopoulou-Mourkidou, 1999). Οι φυσικοχημικές ιδιότητες των φυτοφαρμάκων, όπως η πτητικότητα και η διαλυτότητα, η ποσότητα εφαρμογής, οι εδαφολογικές παράμετροι, οι κλιματικές συνθήκες και οι εφαρμοζόμενες αγροτικές πρακτικές καθορίζουν σε σημαντικό βαθμό τις ποσότητες των ρύπων που θα εισέλθουν στα υδάτινα συστήματα. Οι συγκεντρώσεις συνήθως παρατηρούνται μεγαλύτερες στην εποχή εφαρμογής των φυτοφαρμάκων και κυρίως μετά από καταιγίδες (Kimbourgh and Litke, 1996).

Οι βιομηχανικοί ρύποι (βιομηχανικά απόβλητα), ανάλογα με τη δραστηριότητα της βιομηχανίας προσδίδουν διάφορα στοιχεία στα επιφανειακά ύδατα, όπως  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$  και διάφορα βαρέα μέταλλα. Τα αστικά λύματα αποτελούν το 45% της προέλευσης των φωσφορικών ιόντων στα επιφανειακά υδάτινα συστήματα (Morse et al., 1993), λόγω της χρήσης απορρυπαντικών. Επίσης, οι αυξημένες θερμοκρασίες του χρησιμοποιημένου νερού των αστικών λυμάτων οδηγούν σε αύξηση της θερμοκρασίας των επιφανειακών υδάτων όπου καταλήγουν, αυξάνουν τη διαλυτότητα των στερεών ουσιών και αερίων και μειώνουν την περιεκτικότητα του νερού σε διαλυμένο οξυγόνο, λόγω αύξησης του ρυθμού μεταβολισμού και γρήγορης

κατανάλωσης του ενεργειακού αποθέματος από τους υδρόβιους μικροοργανισμούς (Friedrich, 1965).

Συνήθως, κατά μήκος των ποταμών παρατηρείται μείωση των αλάτων προς τα κατάντη, λόγω αφομοίωσης απ' το πλαγκτόν, σταδιακής καθίζησης και διαδικασιών ιζηματογένεσης (Skoulikidis, 1991). Οι ρύποι παρατηρούνται αυξημένοι σε ποταμούς χαμηλής ροής, ενώ σε ποταμούς υψηλότερης ροής παρατηρούνται χαμηλότερες συγκεντρώσεις, λόγω της αραίωσης με μεγαλύτερο όγκο νερού (Larson et al., 1995).

### 8.5.2 Εργασίες πεδίου-Δειγματοληψία-Αναλύσεις

Στη περιοχή έρευνας τα κύρια υδάτινα ρεύματα είναι ο Ερασίνος που διέρχεται του αρχαιολογικού χώρου όπου βρίσκεται ο Ναός της Βραυρωνίου Αρτέμιδος και εκβάλλει στο κόλπο της Βραυρώνας και το Μεγάλο Ρέμα της Ραφήνας που εκβάλλει στο κόλπο της Ραφήνας που σήμερα έχει διαμορφωθεί στο ομώνυμο λιμάνι (σχήμα 8.109).

Οι εργασίες πεδίου περιλαμβάνουν τις μετρήσεις παροχής, της θερμοκρασίας, της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και του pH, καθώς επίσης και τις δειγματοληψίες για τον προσδιορισμό των φυσικοχημικών και χημικών παραμέτρων. Οι επιτόπιες μετρήσεις και δειγματοληψίες των επιφανειακών υδάτων ξεκίνησαν τον Οκτώβριο του 2005. Τέσσερις φορές το μήνα επί ένα έτος, πραγματοποιήθηκε μέτρηση της παροχής στις εκβολές των δύο κυρίων ρεμάτων, στη θέση «*Ερ.1*» για τον Ερασίνο (Βραυρώνα) και στη θέση «*Ραφ.1*» για το Μεγάλο Ρέμα Ραφήνας με την χρήση του μιλίσκου. Στις δυο προαναφερόμενες θέσεις πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία επιφανειακού νερού, μια φορά το μήνα, για τις υδροχημικές αναλύσεις. Επί τόπου μετρήθηκαν επίσης οι φυσικοχημικές παράμετροι, όπως η θερμοκρασία (T°C), η ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) και η τιμή του pH.

Για την καλύτερη εξέταση και προσδιορισμό της πηγής του ρυπαντικού φορτίου που καταλήγει στα δύο κύρια υδρορεύματα της περιοχής, συλλέχθηκαν δείγματα και από τους κύριους παραποτάμους αυτών και σε θέσεις κατά μήκος της κοίτης τους (Σχ. 8.109). Η δειγματοληψία στα ποτάμια της περιοχής έγινε σε 8 σημεία, συνολικά πέντε φορές (2 φορές την 1η ξηρή περίοδο Οκτώβριο και Νοέμβριο 2005, την 1η υγρή περίοδο Μάρτιο 2006, τη 2η ξηρή περίοδο Οκτώβριο 2006 και τη 2η υγρή περίοδο Μάρτιο 2007).

Οι θέσεις δειγματοληψίας των επιφανειακών νερών παρουσιάζονται στο σχήμα 8.109 και είναι οι εξής:

#### **α) Θέσεις δειγματοληψίας Μεγάλου Ρέματος Ραφήνας:**

**Ραφ.1:** Εκβολή Μεγάλου Ρέματος της Ραφήνας, απέναντι απ' το Νεκροταφείο. Γύρω απ' τις εκβολές του ρέματος υπάρχουν καλαμιές. Η κοίτη περιέχει ποταμίσια άμμο. Η απόσταση από την ακτή είναι 30 μέτρα περίπου.

**Ραφ.2:** Η θέση δειγματοληψίας βρίσκεται δίπλα σε εργοστάσιο τσιμέντου. Στη θέση αυτή το Μεγάλο Ρέμα μεταφέρει τα επιφανειακά νερά που προέρχονται από τα νότια, δυτικά και βορειοδυτικά τμήματα της λεκάνης απορροής. Μέσα και γύρω απ' το ρέμα υπάρχουν καλαμιές.

**Ραφ.3:** Παραπόταμος του Μεγάλου Ρέματος που αποστραγγίζει τις νότιες παρυφές της Πεντέλης, δίπλα στο εργοστάσιο τσιμέντου, πριν ενωθεί με το κεντρικό υδατόρευμα. Γύρω απ' τις εκβολές του ρέματος υπάρχουν καλαμιές. Σε απόσταση 50m περίπου από τη θέση δειγματοληψίας ο παραπόταμος εισέρχεται στο κύριο υδατόρευμα της Ραφήνας.

**Ραφ.4:** Η θέση δειγματοληψίας βρίσκεται κοντά στον οικισμό Φοίνικας της Παλλήνης. Μέσα και γύρω απ' το ρέμα υπάρχουν καλαμιές. Δίπλα ακριβώς υπάρχουν καλλιέργειες αμπελιών.



**Ραφ.5:** Η θέση δειγματοληψίας βρίσκεται κάτω απ' τη γέφυρα της Λεωφόρου Σπάτων. Στην ευρύτερη περιοχή έχουν εγκατασταθεί μικρές βιοτεχνίες. Γύρω απ' το ρέμα υπάρχουν καλαμιές.

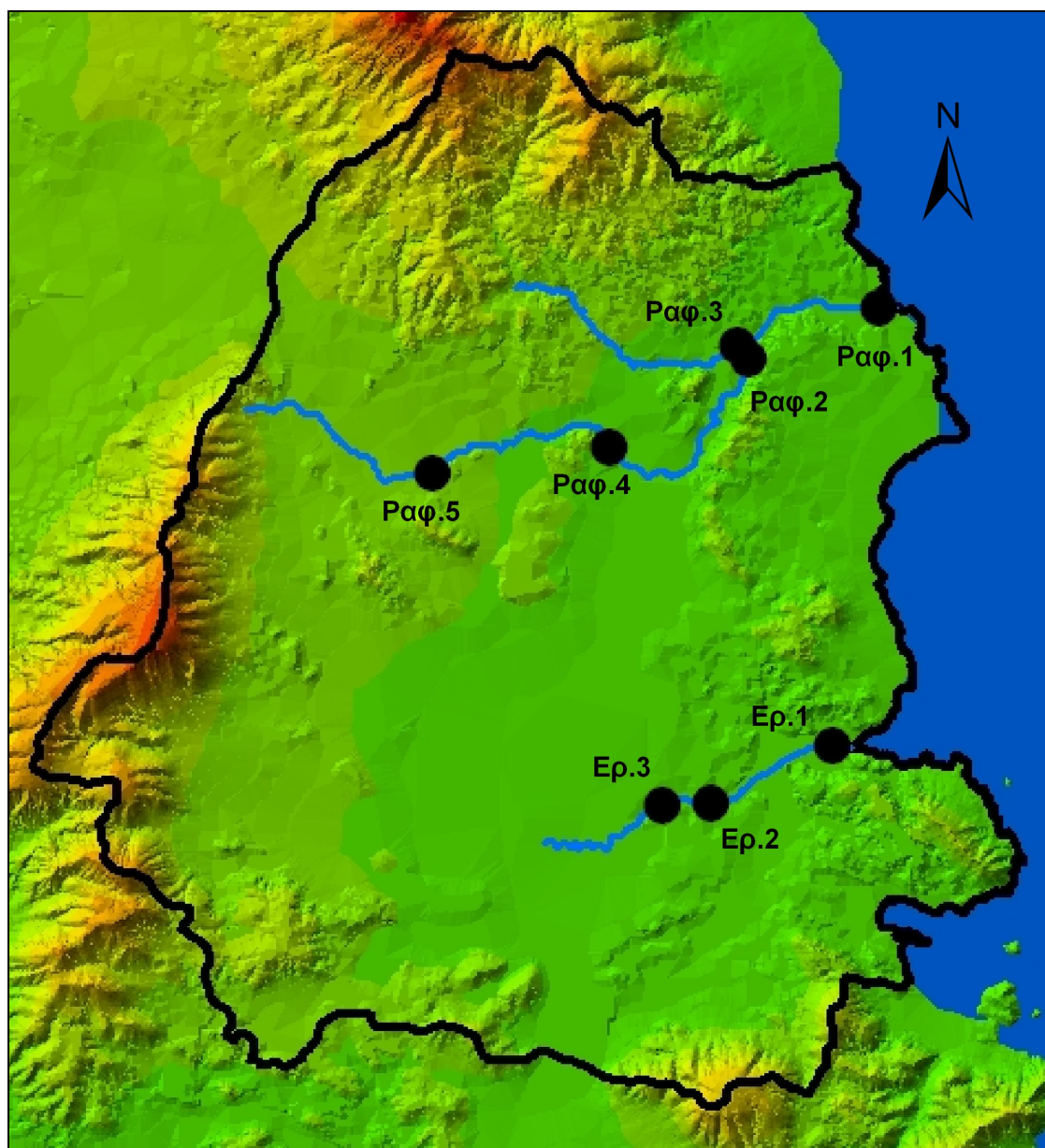
**β) Θέσεις δειγματοληψίας Ερασίνου:**

**Ερ.1:** Εκβολή Ερασίνου, δίπλα στην είσοδο των αρχαίων στη Βραυρώνα. Η βλάστηση στην περιοχή αποτελείται από ψηλά ποταμίσια χόρτα και καλαμιές.

**Ερ.2:** Μέσο ρου Ερασίνου.

**Ερ.3:** Παραπόταμος του Ερασίνου, βρίσκεται πολύ κοντά στο αεροδρόμιο «Ελ. Βενιζέλος». Στη χλωρίδα της περιοχής ανήκουν πολλές καλαμιές και χόρτα.

Φωτογραφίες των σημείων δειγματοληψίας των επιφανειακών νερών παρατίθενται στο Παράρτημα.



**Σχήμα 8.109:** Τα σημεία υδροληψίας επιφανειακών υδάτων της περιοχής

Στα δείγματα, μετά την συλλογή και την απαραίτητη επεξεργασία τους, ακολούθησε στο εργαστήριο ο προσδιορισμός της σκληρότητας, των κύριων κατιόντων και ανιόντων  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{NH}_4^+$  και



PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>. Συνολικά έγιναν 14 δειγματοληψίες στις εκβολές του Μεγάλου Ρέματος Ραφήνας και μόνον 10 δειγματοληψίες στις εκβολές του Ερασίνου, καθώς κατά την ξηρή περίοδο μεταξύ Ιουνίου και Σεπτεμβρίου 2006 δεν παρατηρήθηκε απορροή. Στην πρώτη δειγματοληψία (Οκτώβριος 2005) έγινε επίσης ποσοτικός προσδιορισμός των βαρέων μετάλλων Fe, Mn, Cu, Zn, Cd, Pb, Ni, Co, Cr και Sr καθώς και των ιχνοστοιχείων Br<sup>-</sup>, I<sup>-</sup>, F<sub>2</sub><sup>-</sup>, CN<sup>-</sup> και υδραζίνες. Τους μήνες Οκτώβριο και Νοέμβριο 2005 και Οκτώβριο 2006 έγινε ποσοτικός προσδιορισμός των φαινολών. Τα αποτελέσματα αυτών αποτυπώνονται στους πίνακες 8.8-8.12 για το Μεγάλο Ρέμα και 8.13-8.14 για τον Ερασίνο.

### 8.5.3 Διαχρονική διακύμανση των ποιοτικών χαρακτηριστικών

#### 8.5.3.1 Φυσικοχημικές παράμετροι

**Θερμοκρασία:** Η θερμοκρασία των επιφανειακών υδάτων επηρεάζεται συνήθως απ' τις μετεωρολογικές συνθήκες, το ανάγλυφο της λεκάνης απορροής και την ύπαρξη βλάστησης στις όχθες, η οποία, με τη σκιά που προκαλεί μειώνει την θερμοκρασία αυτών. Διάφορες ανθρωπογενείς δραστηριότητες όπως η εισροή θερμών αποβλήτων και αστικών λυμάτων δρουν αθροιστικά στην αύξηση της θερμοκρασίας των επιφανειακών υδάτων (Bellos and Sawidis 2005, Μπέλλος 2004).

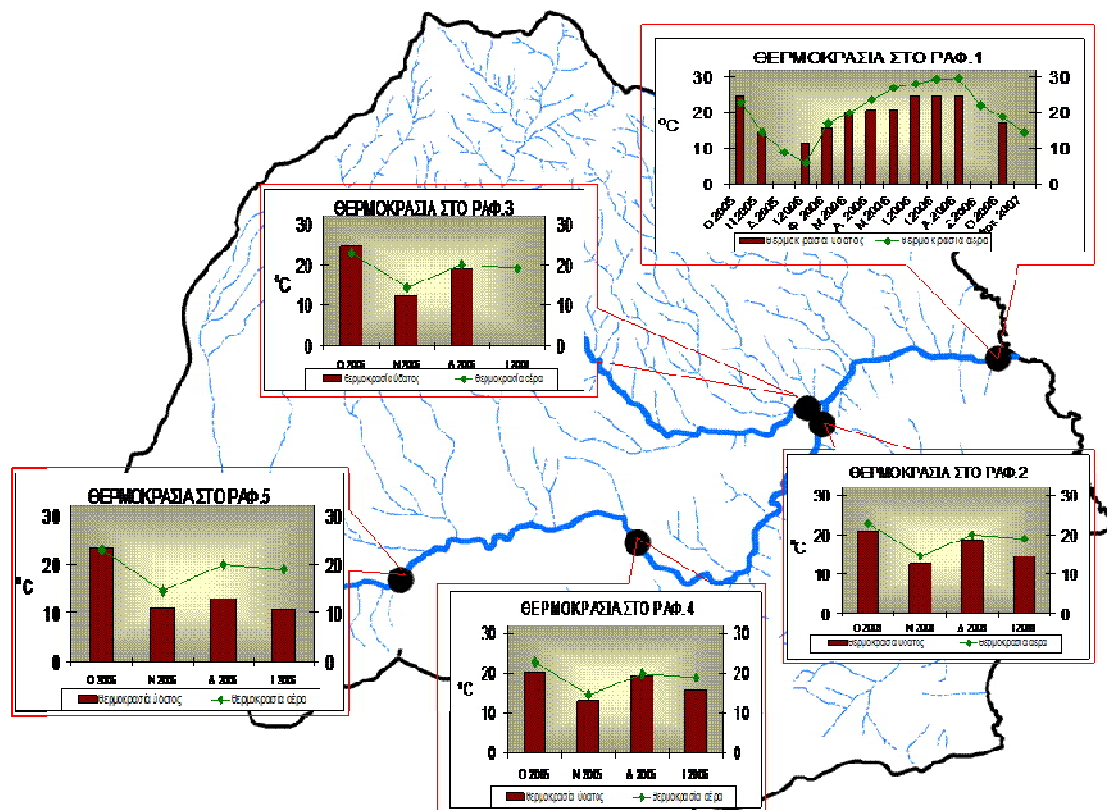
Οι διακυμάνσεις της θερμοκρασίας επηρεάζουν και τις διάφορες φυσικοχημικές παραμέτρους των επιφανειακών υδάτων, αυξάνουν τη διαλυτότητα των αλάτων και μειώνουν την περιεκτικότητα σε διαλυμένο οξυγόνο. Οι υψηλές θερμοκρασίες των επιφανειακών υδάτων κατά την ξηρή περίοδο μπορούν να οδηγήσουν σε μείωση του όγκου νερού των ποταμών λόγω εξάτμισης (Justic et al., 1997).

*α) Μεγάλο Ρέμα Ραφήνας:* Οι θερμοκρασίες στα ύδατα του Μεγάλου Ρέματος παρατηρήθηκαν αρκετά υψηλότερες απ' τις αντίστοιχες του ποταμού Ερασίνου. Η θερμοκρασία στην εκβολή του Ερασίνου δεν ξεπέρασε ποτέ τους 17,1°C ενώ στο Μεγάλο Ρέμα έφτασε κοντά στους 25°C. Οι θερμοκρασίες των επιφανειακών υδάτων του Μεγάλου Ρέματος φαίνονται στους πίνακες 8.8 έως 8.12, όπως μετρήθηκαν επί τόπου στην κάθε δειγματοληψία.

Την υψηλότερη θερμοκρασία παρουσιάζει εμφανώς η εκβολή του Μεγάλου Ρέματος (Ραφ.1:11,3-25°C) αλλά κι ο παραπόταμος Βαλανήρης που αποστραγγίζει τμήμα των νότιων πρηνών της Πεντέλης (Ραφ.3:12,3-24,5°C). Επειδή διαπιστώθηκε, όπως παρατίθεται στα επόμενα κεφάλαια, πως στον εν λόγω παραπόταμο δεν ρίπτονται απόβλητα, η αυξημένη θερμοκρασία οφείλεται στα ρηχά ύδατα του ποταμού, που επηρεάζονται άμεσα από την ατμοσφαιρική θερμοκρασία και την θερμοκρασία του μεγάλης θερμοχωρητικότητας εδάφους. Η αυξημένη θερμοκρασία στην εκβολή του Μεγάλου Ρέματος πιθανόν να αποδίδεται και σε υποδοχή αστικών λυμάτων της πόλης της Ραφήνας με ήδη υψηλή θερμοκρασία, λόγω χρήσης του νερού (πλυσίματα, απόνερα πλυντηρίων κλπ). Στην θέση Ραφ.2 οι θερμοκρασίες κυμαίνονται από 12,7 έως 20,8°C, στην θέση Ραφ.4 από 13,2 έως 20,4°C και στην θέση Ραφ.5 από 10,9 έως 23,3°C.

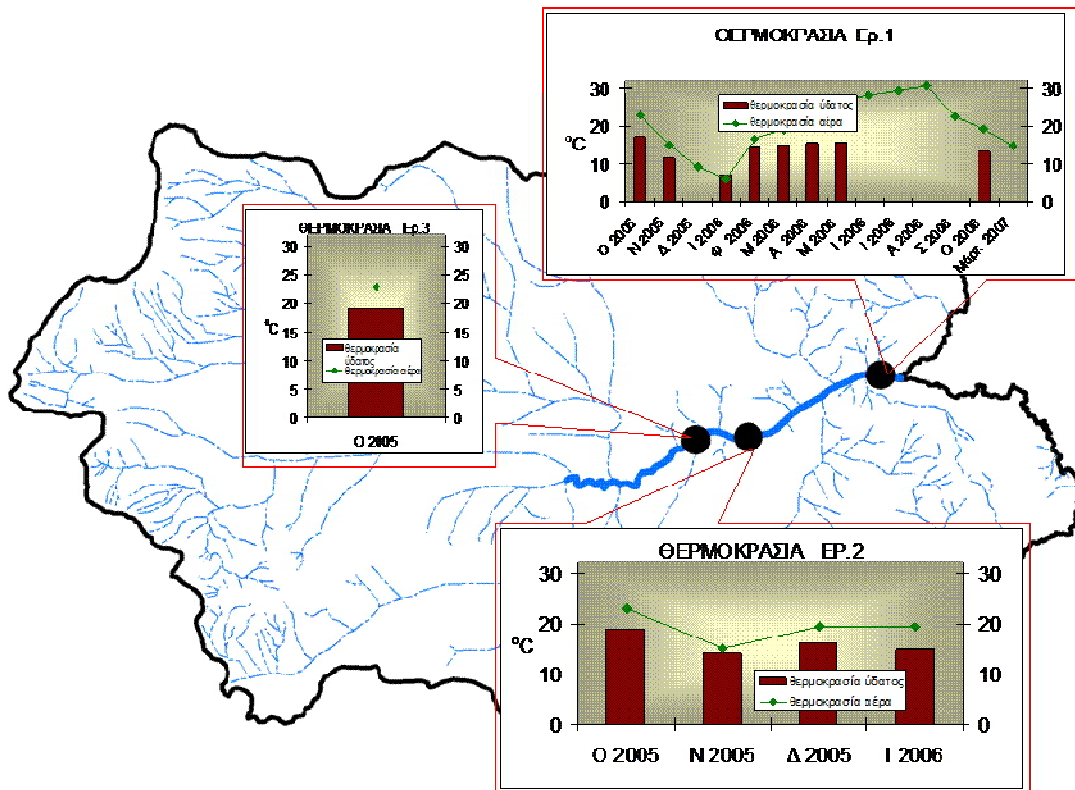
Στο σχήμα 8.110 παρουσιάζεται η θερμοκρασία στα 5 σημεία του Μεγάλου Ρέματος συγκριτικά με την θερμοκρασία της ατμόσφαιρας (βασισμένη σε μετρήσεις των κοντινότερων μετεωρολογικών σταθμών του Διεθνούς Αερολιμένα Αθηνών, Σπάτα, Γλυκά Νερά και Παλλήνη). Με εξαίρεση την υψηλή θερμοκρασία του ρηχού ποταμού Βαλανήρη (Ραφ.3), η θερμοκρασία των επιφανειακών υδάτων του Μεγάλου Ρέματος αυξάνεται κατά μήκος αυτού προς την εκβολή, όπου μειώνεται η βλάστηση κι αυξάνονται οι εισροές θερμών ρύπων.

*β) Ερασίνο:* Οι θερμοκρασίες στα ύδατα του Ερασίνου, σε αντίθεση με αυτά του Μεγάλου Ρέματος παρουσιάζουν μείωση των τιμών προς τα κατάντη. Η υψηλότερη θερμοκρασία (19 °C) παρατηρήθηκε στον παραπόταμο Ερ.3 τον Οκτώβριο 2006. Η αντίστοιχη θερμοκρασία στην εκβολή του Ερασίνου ήταν 17,1°C ενώ στο ενδιάμεσο σημείο Ερ.2 18,9°C. Παρόλο που τα σημεία Ερ.2 και Ερ.3 καλύπτονται με βλάστηση και δεν είναι ρηγά, οι θερμοκρασίες παρατηρούνται αυξημένες συγκριτικά με την μικρότερης φυτοκάλυψης και παρόμοιου βάθους εκβολή. Αυτό οδηγεί σε θεωρίες ρίψης θερμών αποβλήτων (Bellos and Sawidis 2005, Μπέλλος 2004) κοντά στο σημείο Ερ.3. Αυτή η θεωρία ενισχύεται από το γεγονός ότι η εκβολή του Ερασίνου, σε αντίθεση με την εκβολή του Μεγάλου Ρέματος βρίσκεται μακριά από κατοικημένες περιοχές, ανήκει σε προστατευόμενη περιοχή Natura 2000 και τα μοναδικά απόβλητα που δέχεται άμεσα είναι τα νερά στραγγίσεων από τους παρακείμενους αγρούς.



**Σχήμα 8.110:** Οι θερμοκρασίες στα επιφανειακά ύδατα του Μεγάλου Ρέματος συγκριτικά με τις θερμοκρασίες αέρα

Οι θερμοκρασίες των επιφανειακών υδάτων του Ερασίνου φαίνονται στους πίνακες 8.13-8.14, όπως μετρήθηκαν επί τόπου στην κάθε δειγματοληψία. Η χαμηλότερη θερμοκρασία (7,1 °C) μετρήθηκε στην εκβολή τον Ιανουάριο του 2006 κι αποδίδεται στις χαμηλές θερμοκρασίες αέρα. Στο σχήμα 8.111 παρουσιάζεται η κύμανση της θερμοκρασίας στα τρία σημεία του ποταμού Ερασίνου, σε σύγκριση με την θερμοκρασία αέρα (Μετεωρολογικοί Σταθμοί: Σπάτα και Μαρκόπουλο του Διεθνούς Αερολιμένα Αθηνών).



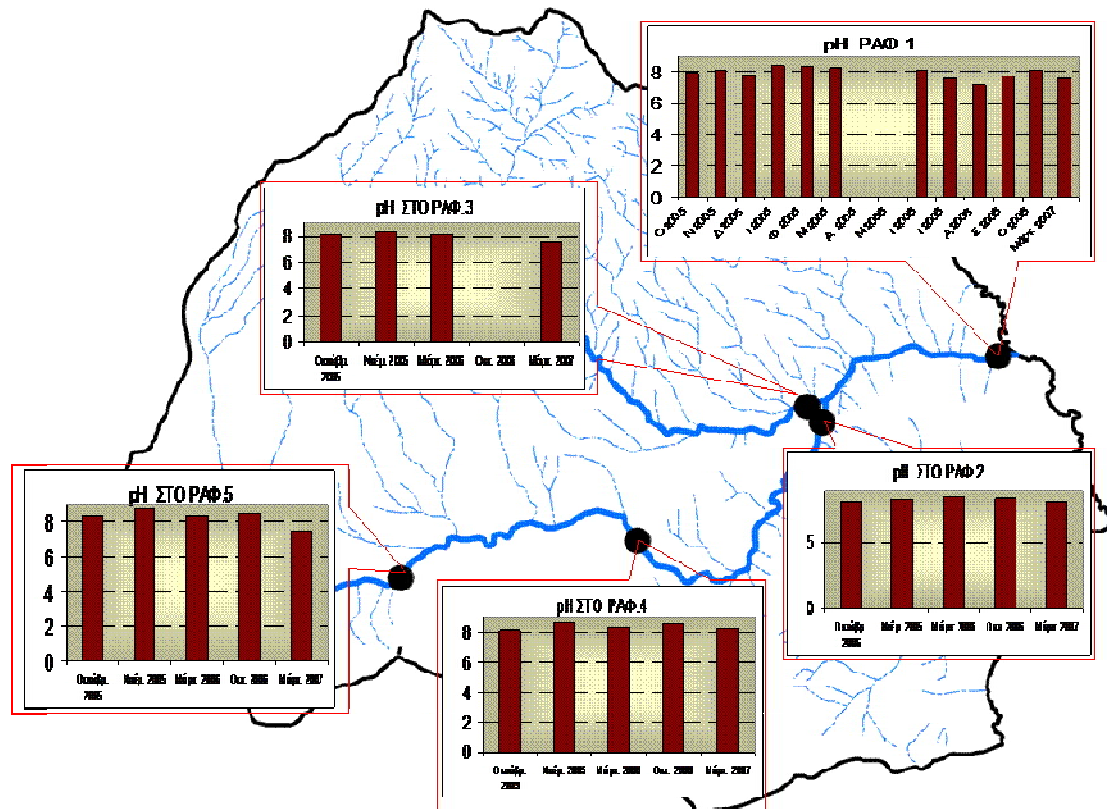
Σχήμα 8.111: Οι θερμοκρασίες στα επιφανειακά ύδατα του Ερασίνου συγκριτικά με τις θερμοκρασίες αέρα

**Τιμή του pH :** Το pH εκφράζει την ενεργό συγκέντρωση κατιόντων υδρογόνου κι είναι δείκτης της οξύτητας ή αλκαλικότητας του νερού. Όταν οι τιμές του pH βρίσκονται μεταξύ 4 και 7 το νερό είναι όξινο κι αναμένεται να περιέχει ρυπαντικές ουσίες όπως  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^-$  και  $\text{PO}_4^{3-}$ , ενώ σε πιο αλκαλικές τιμές (7-11) το νερό αναμένεται να περιέχει οργανοχλωριούχες ενώσεις, πετρελαιοειδή, απορρυπαντικά και χρώματα (Mayo and Noike, 1994). Οι φυσιολογικές λειτουργίες των υδρόβιων φυτικών οργανισμών όπως η πρόσληψη θρεπτικών αλάτων, ο μεταβολισμός κλπ. επηρεάζουν σημαντικά το pH (Sawidis, 1997 a,b).

**α) Μεγάλο Ρέμα Ραφήνας:** Οι τιμές pH κατά μήκος του Μεγάλου Ρέματος ( Σχ. 8.112) παρουσιάζουν ελαφρά μείωση προς την εκβολή, κάτι που συνεπάγεται εισροή ρυπαντικών ουσιών που αυξάνουν τις συγκεντρώσεις  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^-$  και  $\text{PO}_4^{3-}$ . Οι ρυπαντικές ουσίες οφείλονται είτε σε έκλυση από εφαρμοσθέντα αγροχημικά είτε σε εισροή αστικών λυμάτων που είναι πλούσια σε φωσφορικά (Morse et al. 1993, Ahl and Oden 1971, Engwall 1971, Moustaka-Gouni and Nikolaidis 1994, Tryfon et al. 1996).

Οι τιμές pH στην εκβολή του Μεγάλου Ρέματος κυμαίνονται από 7,2 (Αύγουστος 2006) έως 8,4 (Ιανουάριος 2006). Οι αλκαλικές τιμές προσεγγίζουν τις αντίστοιχες τιμές των μεγαλύτερων ποταμών της Ελλάδας όπως Έβρο, Άρδα, Νέστο, Στρυμόνα, Αξιό, Γαλλικό, Αλιάκμονα, Πηνειό, Σπερχειό, Αχελώο, Λούρο, Αρκουδόρεμα και Αγγίτη (Skoulikidis, 1997). Γενικά οι υψηλές αλκαλικές τιμές εμφανίζονται κυρίως τους υγρούς μήνες και αποδίδονται στη διάλυση των ασβεστολιθικών πετρωμάτων των γεωλογικών υποστρωμάτων των ποταμών (Μπέλλος, 2004). Αντίθετα οι πιο όξινες τιμές εμφανίζονται τους ξηρούς μήνες Ιούλιο, Αύγουστο και Σεπτέμβριο και αποδίδονται κυρίως σε εισροή αστικών λυμάτων πλούσιων σε  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$  και  $\text{PO}_4^{3-}$  (Sikora et al. 1976, Mayo and Noike 1994).

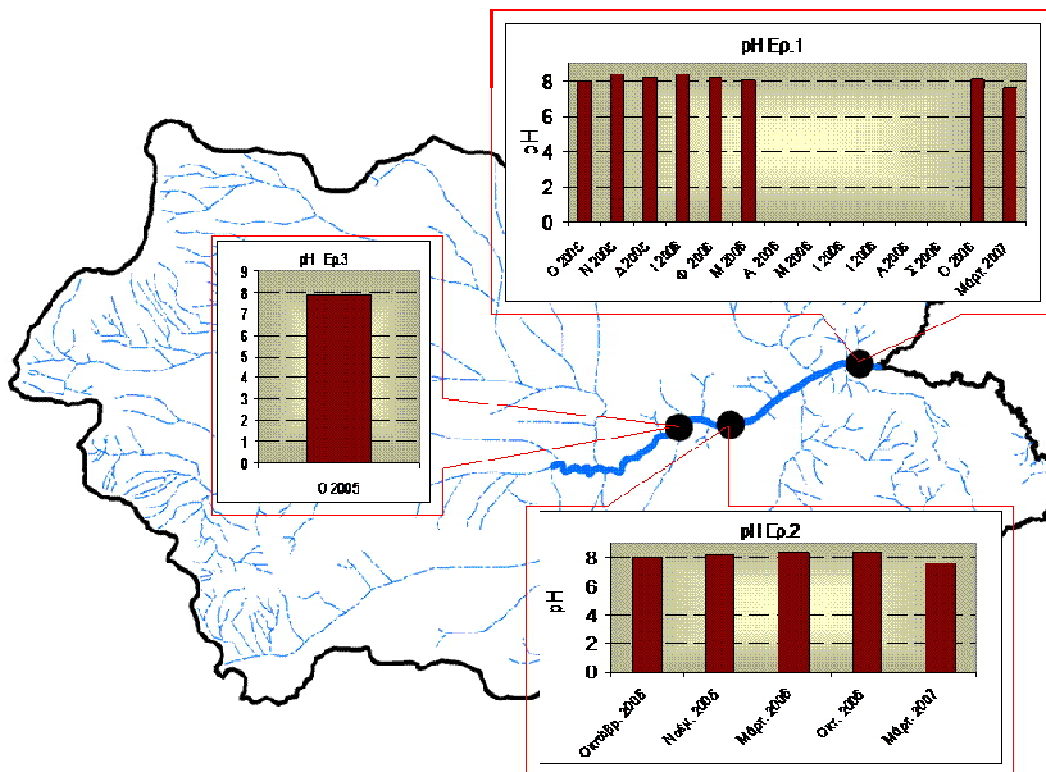
Στις θέσεις ανάντη των εκβολών οι τιμές παρουσιάζουν τις ακόλουθες διακυμάνσεις: Ραφ. 2: από 8,1 έως 8,5, Ραφ.3: από 7,6 έως 8,3, Ραφ.4: από 8,2 έως 8,7 και Ραφ. 5: από 7,5 έως 8,7. Οι υψηλότερες τιμές κατά μήκος του Μεγάλου Ρέματος (8,7) εντοπίζονται στα ανάντη του ποταμού, θέσεις Ραφ.4 και Ραφ.5 τον Νοέμβριο του 2006, και αποδίδονται σε διάλυση των ασβεστολιθικών πετρωμάτων του γεωλογικού υποβάθρου.



Σχήμα 8.112: Οι τιμές pH στα επιφανειακά ύδατα του Μεγάλου Ρέματος

*β) Ερασίνο:* Οι τιμές pH στον ποταμό Ερασίνο κατά το υδρολογικό έτος 2005-2006 δεν παρουσιάζουν μεγάλες αυξομειώσεις και κυμαίνονται από 7,9 έως 8,41. Οι τιμές αυτές προσεγγίζουν καλύτερα τις αντίστοιχες τιμές των μεγαλύτερων ποταμών της Ελλάδας (Skoulikidis, 1997) απ' ότι οι τιμές pH του Μεγάλου Ρέματος. Οι τιμές κατά μήκος προς την εκβολή αυξάνονται κατά 0,1-0,2 βαθμούς σε κάθε δειγματοληψία.

Τα χαμηλότερα pH στα ανάντη του ποταμού, πλησίον αγροτικών δραστηριοτήτων αποδίδονται σε έκπλυση αγροχημικών που προσδίδουν αυξημένες συγκεντρώσεις  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^-$  και  $\text{PO}_4^{3-}$  (Morse et al. 1993, Ahl and Oden 1971, Engwall 1971, Moustaka-Gouni and Nikolaidis 1994, Tryfon et al. 1996). Το χαμηλό pH:7,6 που παρατηρήθηκε τον Μάρτιο του 2007 σε όλο το μήκος του Ερασίνου, από τις εκβολές έως τα ανάντη, αποδίδεται κυρίως στην παροχή φρέσκου βρόχινου νερού. Οι τιμές pH στους ποταμούς του Μεγάλου Ρέματος παρουσιάζουν πολύ μεγαλύτερες διακυμάνσεις. Στο σχήμα 8.113 παρουσιάζεται η διακύμανση του pH στις τρεις θέσεις μέτρησης του Ερασίνου.



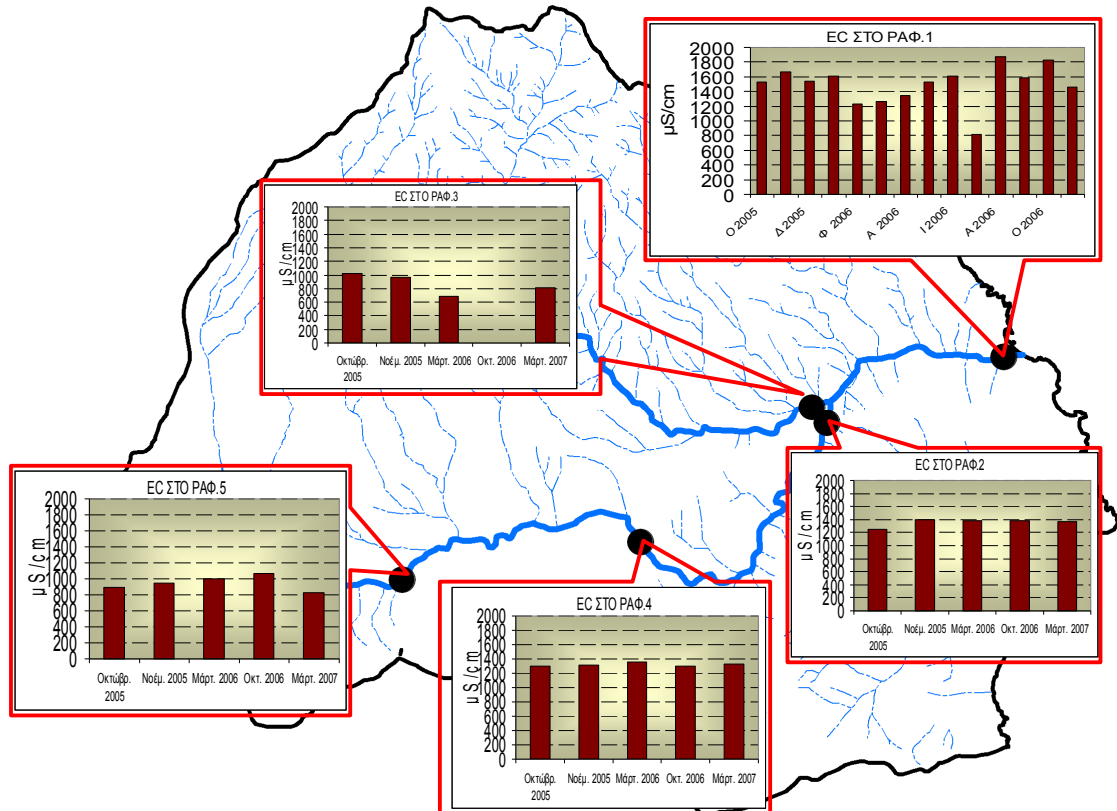
Σχήμα 8.113: Οι τιμές pH στα επιφανειακά ύδατα του Ερασίνου

**Ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC):** Η ηλεκτρική αγωγιμότητα εκφράζει την ικανότητα ενός υδατικού διαλύματος να άγει το ηλεκτρικό ρεύμα κι εξαρτάται απ' την ολική συγκέντρωση των ιόντων, το είδος τους και τη θερμοκρασία. Η ηλ. αγωγιμότητα παρατηρείται αυξημένη στους ποταμούς των Μεσογειακών χωρών όπου επικρατούν ασβεστολιθικά πετρώματα στο γεωλογικό τους υπόστρωμα (Μπέλλος, 2004). Τα επιφανειακά ύδατα με αγωγιμότητα μεταξύ 1.500 και 2.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  θεωρούνται μέσης ποιότητας για άρδευση, ενώ αν ξεπερνούν τα 3.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  θεωρούνται ακατάλληλα (Pott, 1986).

α) Μεγάλο Ρέμα Ραφήνας: Η ηλ. αγωγιμότητα κατά μήκος του Μεγάλου Ρέματος παρουσιάζει αύξηση των τιμών προς την εκβολή. Τις υψηλότερες τιμές παρουσιάζει η εκβολή (Ραφ.1). Ο κλάδος Ραφ.4 (περιοχή Φοίνικας) και ο Ραφ.2 που διαρρέουν ανάμεσα σε αγροτεμάχια σε δραστηριότητα παρουσιάζουν παρεμφερείς τιμές ηλ. αγωγιμότητας (1300-1400  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) ενώ οι παραπόταμοι πλησίον των πρανών της Πεντέλης (Ραφ.3) και του Υμηττού (Ραφ.5) παρουσιάζουν τις χαμηλότερες τιμές (685-1013  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ).

Οι τιμές ηλ. αγωγιμότητας του Μεγάλου Ρέματος είναι σημαντικά υψηλότερες από τις αντίστοιχες των μεγάλων ποταμών της Ελλάδας. Η μεγαλύτερη μέση τιμή ηλεκτρικής αγωγιμότητας παρατηρείται στον Σπερχειό κι ανέρχεται στα 620  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Η μικρότερη τιμή παρατηρείται στο Αρκουδόρεμα (140  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). Η διαφοροποίηση των τιμών ηλ.αγωγιμότητας του Μεγάλου Ρέματος με αυτές των μεγάλων ποταμών της Ελλάδας έγκειται στη διαφορετική γεωλογία των ποτάμιων υποστρωμάτων και κυρίως στο μεγαλύτερο όγκο νερού που μεταφέρουν τα μεγάλα ποτάμια και αραιώνουν τις συγκεντρώσεις των αλάτων.



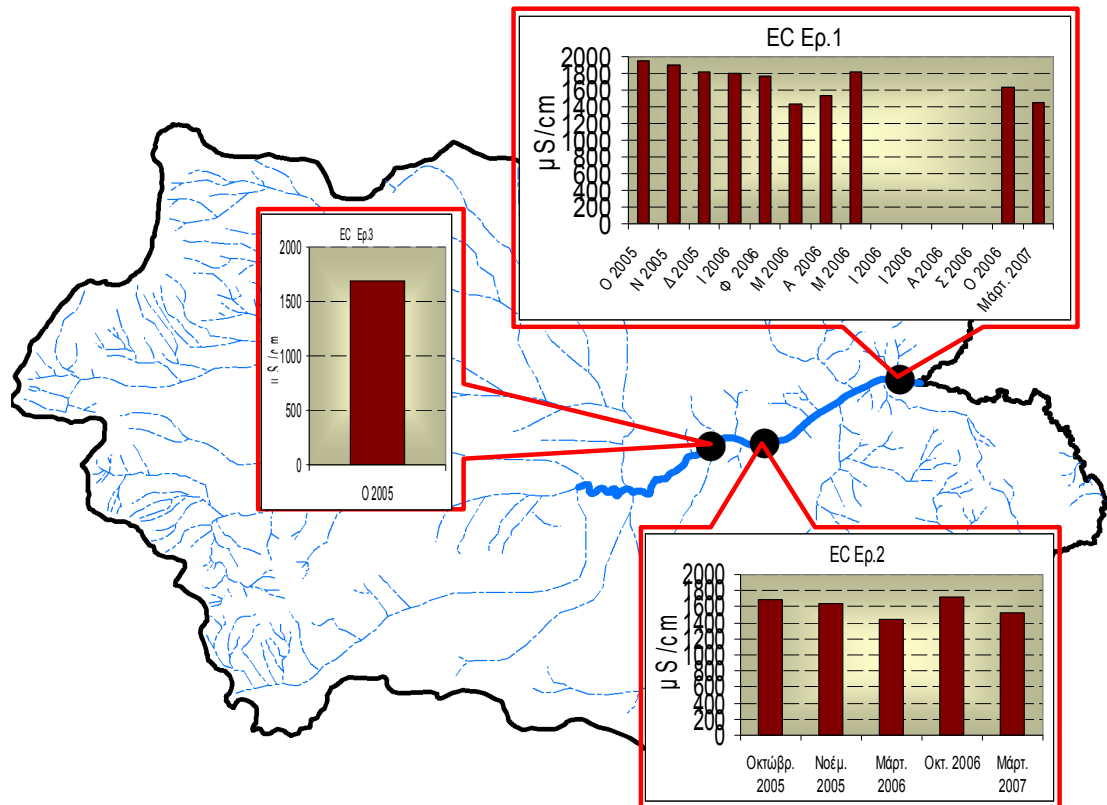


**Σχήμα 8.114:** Οι τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC:  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) στα επιφανειακά ύδατα του Μεγάλου Ρέματος

Στο σχήμα 8.114 παρουσιάζονται τα διαγράμματα ηλεκτρικής αγωγιμότητας σε κάθε σημείο του Μεγάλου Ρέματος. Η χαμηλότερη τιμή ( $685 \mu\text{S}/\text{cm}$ ) εντοπίστηκε το Μάρτιο του 2006 στο Βαλανήρη ποταμό (Ραφ.3) κι αποδίδεται στην προέλευσή του από την περιοχή της Πεντέλης, σε μέρη με μειωμένες χρήσεις γης, ελάχιστες αγροτικές και βιομηχανικές δραστηριότητες κι αριθμό πληθυσμού (Skoulidikidis, 1993).

Ενδιαφέρον παρουσιάζει η ετήσια διακύμανση των τιμών ηλ. αγωγιμότητας στην εκβολή του Μεγ. Ρέματος (Ραφ.1). Οι υψηλότερες τιμές παρατηρούνται τους ξηρούς μήνες με τη μέγιστη τιμή ( $1879 \mu\text{S}/\text{cm}$ ) τον Αύγουστο του 2006, κυρίως λόγω της χαμηλής παροχής του ύδατος (Μπέλλος, 2004). Οι χαμηλές τιμές των μηνών Φεβρουάριο και Μάρτιο 2006 αποδίδονται στην αραίωση με το βρόχινο νερό.

*β) Ερασίνο:* Η ηλεκτρική αγωγιμότητα παρουσιάζει μεγάλες αυξομειώσεις κατά μήκος του Ερασίνου. Τους ξηρούς μήνες οι τιμές ηλ. αγωγιμότητας παρατηρούνται αυξημένες λόγω της χαμηλής παροχής (Μπέλλος, 2004) και της αυξημένης θερμοκρασίας που διαλύει τα άλατα άμεσα και έμμεσα μέσω παραγωγής  $\text{CO}_2$  από την διάσπαση της οργανικής ύλης. Τους υγρούς μήνες οι τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας παρατηρούνται μειωμένες (σχήμα 8.115).



Σχήμα 8.115: Οι τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC:  $\mu\text{S/cm}$ ) στα επιφανειακά ύδατα του Ερασίνου

Οι ελάχιστες τιμές παρατηρήθηκαν στην εκβολή του Ερασίνου στα τέλη της υγρής περιόδου (1450  $\mu\text{S/cm}$  το Μάρτιο του 2006 και 1457  $\mu\text{S/cm}$  το Μάρτιο του 2007) λόγω αραιώσης με βρόχινο νερό. Οι αυξημένες τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας αποδίδονται στη διάλυση ασβεστολιθικών πετρωμάτων των ποτάμιων υποστρωμάτων (Μπέλλος, 2004) καθώς και σε έκλυση λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων από τους παρακείμενους αγρούς (Bellos and Sawidis, 2005). Οι τιμές ηλ. αγωγιμότητας του Ερασίνου είναι πολύ υψηλότερες από τις αντίστοιχες των μεγάλων ποταμών της Ελλάδας που δεν ξεπερνούν τα 620  $\mu\text{S/cm}$  κατά μέσο όρο (Skoulikidis, 1997). Το υδρολογικό έτος 2005-2006, οι τιμές αυξάνονται προς την εκβολή, ενώ το υδρολογικό έτος 2006-2007 μειώνονται προς την εκβολή. Αυτό οδηγεί σε θεωρίες αύξησης των ρυπαντικών στοιχείων στα ανάντη, από σημειακές και μη σημειακές πηγές ρύπανσης στην περιοχή νοτιοανατολικά του αεροδρομίου «Ελ. Βενιζέλος».

**Ολικά Διαλυμένα Στερεά (TDS):** Τα ολικά διαλυμένα άλατα δείχνουν την ολική συγκέντρωση των διαλυμένων αλάτων σε  $\text{mg/l}$ . Οι συγκεντρώσεις των διαλυμένων αλάτων σχετίζονται άμεσα με την παροχή των επιφανειακών συστημάτων. Οι υψηλότερες τιμές των TDS εμφανίζονται συνήθως τους ξηρούς μήνες λόγω της χαμηλής παροχής, ενώ οι χαμηλές τιμές παρατηρούνται κατά την υγρή περίοδο λόγω των υψηλών παροχών που συμβάλλουν σε αραιώση των εν διαλύσει αλάτων (Μπέλλος, 2004).

*α) Μεγάλο Ρέμα Ραφήνας:* Κατά μήκος του Μεγάλου Ρέματος παρατηρείται αύξηση των συγκεντρώσεων TDS προς την εκβολή, κάτι που οφείλεται σε προσθήκη αποβλήτων και κυρίως αστικών λυμάτων. Η εισροή θαλάσσιου σπρέι στα κοντινά σημεία του κόλπου της Ραφήνας αυξάνει τις συγκεντρώσεις των χλωριόντων, ιόντων νατρίου και θεικών και κατ' επέκταση και τις συγκεντρώσεις TDS. Οι μεγαλύτερες



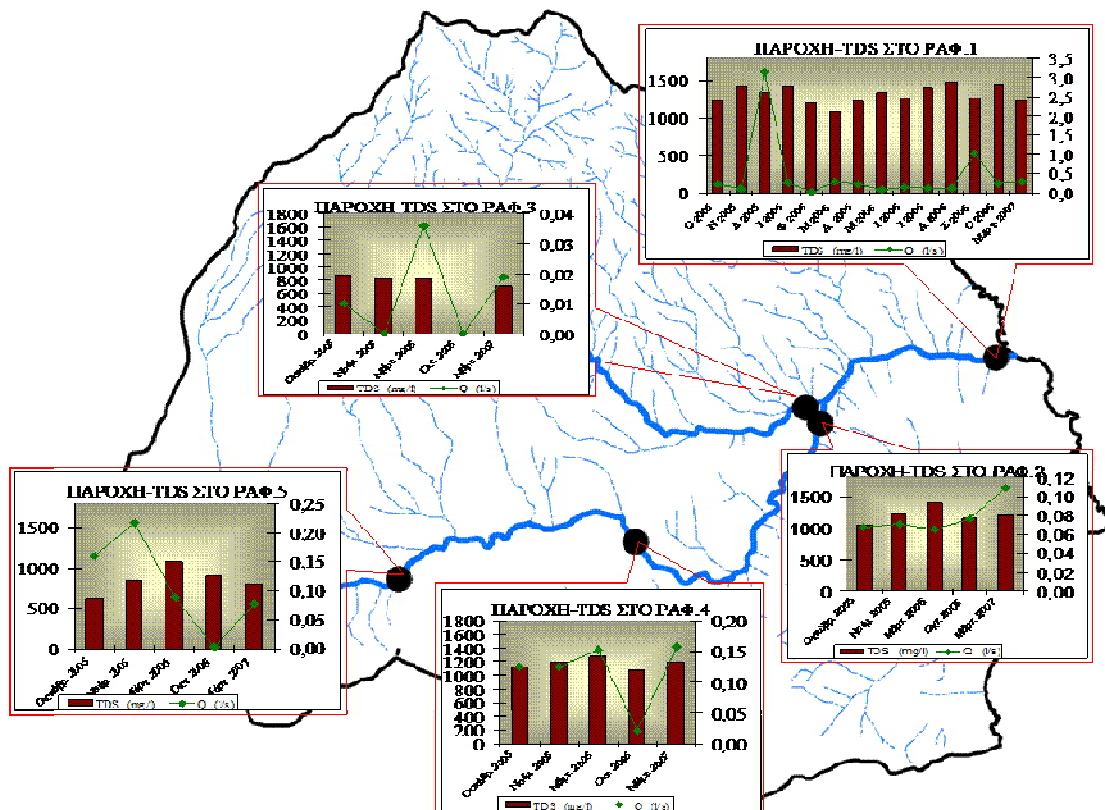
τιμές των TDS στην εκβολή του Μεγάλου Ρέματος (Ραφ.1) παρατηρούνται τους ξηρούς μήνες λόγω της χαμηλής παροχής (Μπέλλος, 2004).

Η υψηλότερη τιμή TDS:1485 mg/l παρατηρήθηκε τον Αύγουστο 2006, όπου παρατηρήθηκε κι η μέγιστη τιμή ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Η χαμηλότερη τιμή TDS:1099 mg/l παρατηρήθηκε το μήνα Μάρτιο 2006 στην εκβολή του ρέματος. Τον ίδιο μήνα, οι τιμές TDS στα ανάντη σημεία Ραφ.2 και Ραφ.4 παρατηρήθηκαν υψηλότερες απ' την αντίστοιχη τιμή της εκβολής (Ραφ.1). Το γεγονός αυτό αποδίδεται προφανώς σε εμπλουτισμό αλάτων από την έκπλυση εφαρμοσθέντων αγροχημικών στους όμορους αγρούς. Στις θέσεις Ραφ.3 και Ραφ.5, που εμπλουτίζονται από τα πρηνή των όρων Πεντέλη και Υμηττός αντίστοιχα, ανιχνεύθηκαν οι χαμηλότερες τιμές TDS (837mg/l και 1077mg/l αντίστοιχα). Στα ίδια σημεία, τον Μάρτιο του 2007 που ήταν πιο βροχερός μήνας από τον Μάρτιο 2006, ανιχνεύθηκαν οι χαμηλότερες συγκεντρώσεις όλου του Μεγάλου Ρέματος, 716 mg/l και 787 mg/l αντίστοιχα λόγω αραίωσης με το βρόχινο νερό. Η χαμηλή τιμή στον ποταμό Βαλανήρη (Ραφ.3: 837 mg/l TDS) αποδίδεται κυρίως στις μειωμένες αγροτικές και βιομηχανικές δραστηριότητες καθώς και το μειωμένο πληθυσμό της περιοχής που τροφοδοτεί τον εν λόγω παραπόταμο.

Οι συγκεντρώσεις των ολικών διαλυμένων αλάτων του Μεγάλου Ρέματος είναι πολύ υψηλότερες από τις αντίστοιχες των μεγάλων ποταμών της Ελλάδας (από 108,4 mg/l στο Αρκουδόρεμα έως 441,1 mg/l στον Σπερχειό, Skoulikidis, 1997), αφενός λόγω διάλυσης διαφορετικής σύστασης των πετρωμάτων στα ποτάμια υποστρώματα και αφετέρου λόγω μεταφοράς μεγαλύτερου όγκου νερού στα μεγάλα ποτάμια που αραιώνουν τις συγκεντρώσεις των αλάτων.

Στο σχήμα 8.116 παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις TDS σε καθένα απ' τα 5 σημεία δειγματοληψίας του Μεγάλου Ρέματος, συγκριτικά με την παροχή. Ενώ θα αναμενόταν να υπάρχει αντιστρόφως ανάλογη σχέση της παροχής με τα ολικά διαλυμένα στερεά λόγω αραίωσης με το βρόχινο νερό, εντούτοις δεν παρατηρείται καμία στατιστική σχέση. Εποχιακές εισροές ρυπαντικών ουσιών και λοιπών υδάτων (απόβλητα, αστικά λύματα, νερά στράγγισης καλλιεργειών) προφανώς συντελούν στην ανεξαρτησία των δύο αυτών παραμέτρων. Γενικά παρατηρείται αντιστρόφως ανάλογη σχέση με εξαίρεση τον παραπόταμο της περιοχής «Φοίνικα» (Ραφ.4), κάτι που πιθανόν να οφείλεται σε έκπλυση από την εφαρμογή αγροχημικών στους παρακείμενους αγρούς.

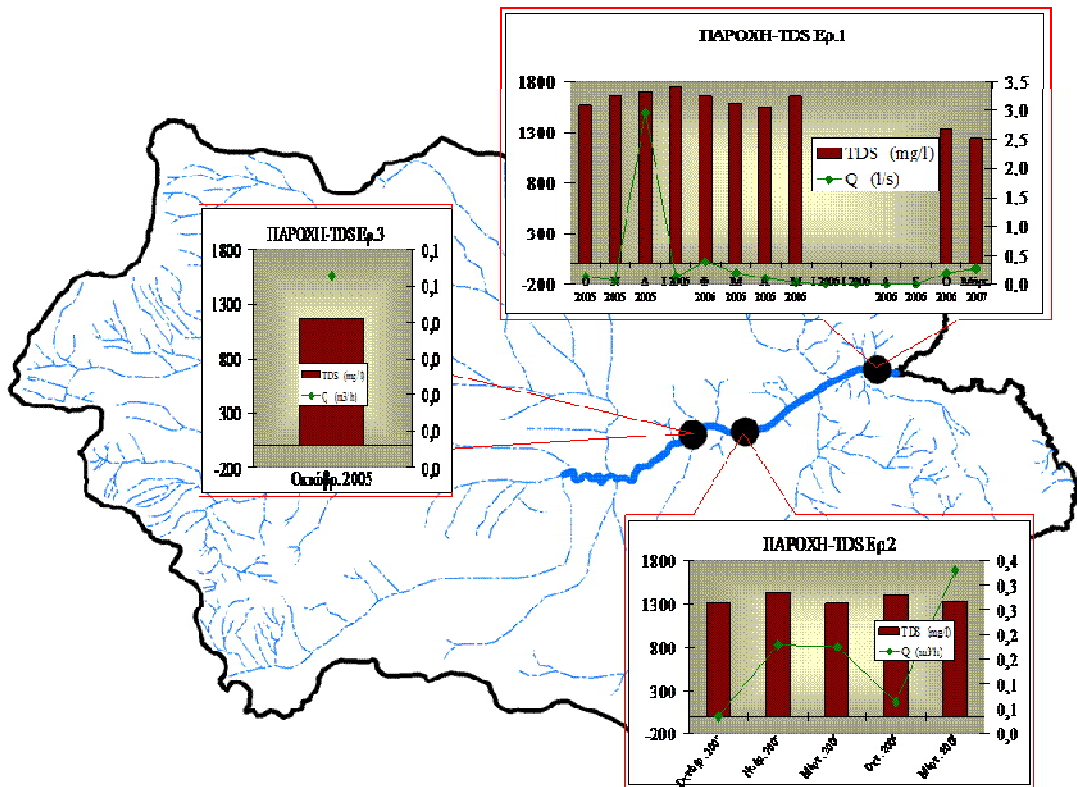
Η παροχή στα ποτάμια μετρήθηκε κυρίως σε χαμηλές τιμές (πίνακες 8.8-8.14) κι ήταν ανάλογη των καιρικών συνθηκών. Μετά από βροχοπτώσεις η παροχή ήταν αυξημένη ενώ τους άνομβρους μήνες πολλές φορές ήταν μηδενική. Στη θέση Ραφ.5 (γέφυρα λεωφόρου Παλλήνης-Σπάτων) μετρήθηκαν εξαιρετικά υψηλές παροχές σε κάποιες δειγματοληψίες και σε άλλες πολύ χαμηλές, που οδηγεί σε εικασίες προσθήκης χρησιμοποιημένων υδάτων στα ποτάμια, όπως απόβλητα βιοτεχνιών, κατοικιών κλπ.



Σχήμα 8.116: Διακύμανση των συγκεντρώσεων των ολικών διαλυμένων στερεών (TDS:mg/l) σε σχέση με την παροχή στα επιφανειακά ύδατα του Μεγάλου Ρέματος

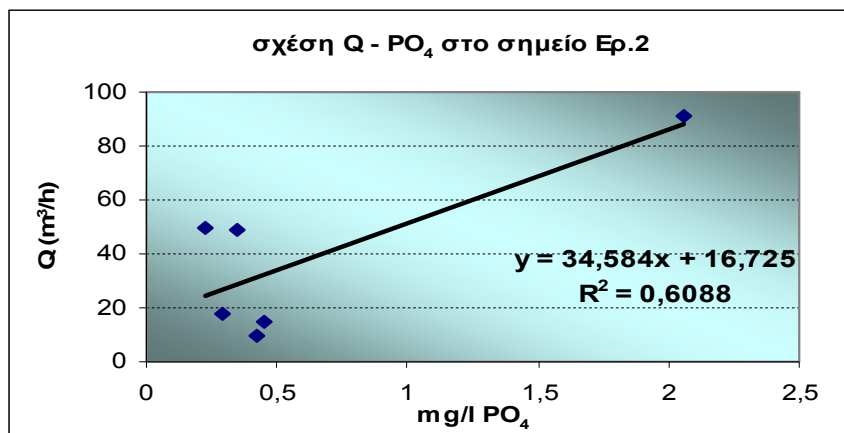
**β) Ερασίνο:** Τα ολικά διαλυμένα στερεά κατά μήκος του Ερασίνου παρουσιάζουν υψηλές τιμές, ανάλογες των τιμών ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Τα TDS στην εκβολή παρουσιάζουν τιμές που κυμαίνονται μεταξύ 1239 και 1751mg/l ενώ στα ανάντη μεταξύ 1163 και 1443 mg/l. Οι μέγιστες τιμές (1751mg/l στην εκβολή και 1443 mg/l στα ανάντη) παρατηρήθηκαν τους υγρούς μήνες Ιανουάριο και Μάρτιο 2006 αντίστοιχα (σχήμα 8.117). Όπως και στις τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας, το υδρολογικό έτος 2005-2006, οι τιμές αυξάνονται προς την εκβολή, ενώ το υδρολογικό έτος 2006-2007 μειώνονται προς την εκβολή κάτι που επιβεβαιώνει τις εισροές ρυπαντικών στοιχείων στα ανάντη, από σημειακές και μη σημειακές πηγές ρύπανσης. Οι συγκεντρώσεις ολικών διαλυμένων στερεών Ερασίνο ξεπερνούν κατά πολύ τις μέσες αντίστοιχες συγκεντρώσεις TDS των μεγαλύτερων ποταμών της Ελλάδας (Skoulikidis, 1997).

Οι παραπόταμοι του Ερασίνο (Ερ.2 και Ερ.3) και της Λεωφόρου Σπάτων παρουσιάζουν εξαιρετικά υψηλές παροχές σε κάποιες δειγματοληψίες και σε άλλες πολύ χαμηλότερες, που πάλι μας οδηγεί σε συμπεράσματα προσθήκης υδάτων στα ποτάμια.



Σχήμα 8.117: Διακύμανση των συγκεντρώσεων των ολικών διαλυμένων στερεών (TDS:mg/l) σε σχέση με την παροχή στα επιφανειακά ύδατα του Εραφίνου

Η τιμή των TDS παρατηρείται να είναι αντιστρόφως ανάλογη της παροχής (σχήμα 8.117), που υποδηλώνει πως το νερό της βροχής που στερείται στοιχείων αραιώνει τις συγκεντρώσεις των διαλυμένων αλάτων στα ποτάμια βελτιώνοντας την ποιότητά τους. Εξαιρέση αποτελεί ο παραπόταμος Ερ.2 κάτι που πιθανόν να οφείλεται σε πρόσθετη ρίψη υδάτων, πλούσια σε διαλυμένα άλατα, όπως προκύπτει από την έκπλυση αγροχημικών στους αγρούς. Στο ίδιο σημείο παρατηρούνται εξαιρετικά υψηλές παροχές σε κάποιες δειγματοληψίες και σε άλλες πολύ χαμηλότερες, που πάλι μας οδηγεί σε συμπεράσματα προσθήκης υδάτων στα ποτάμια.



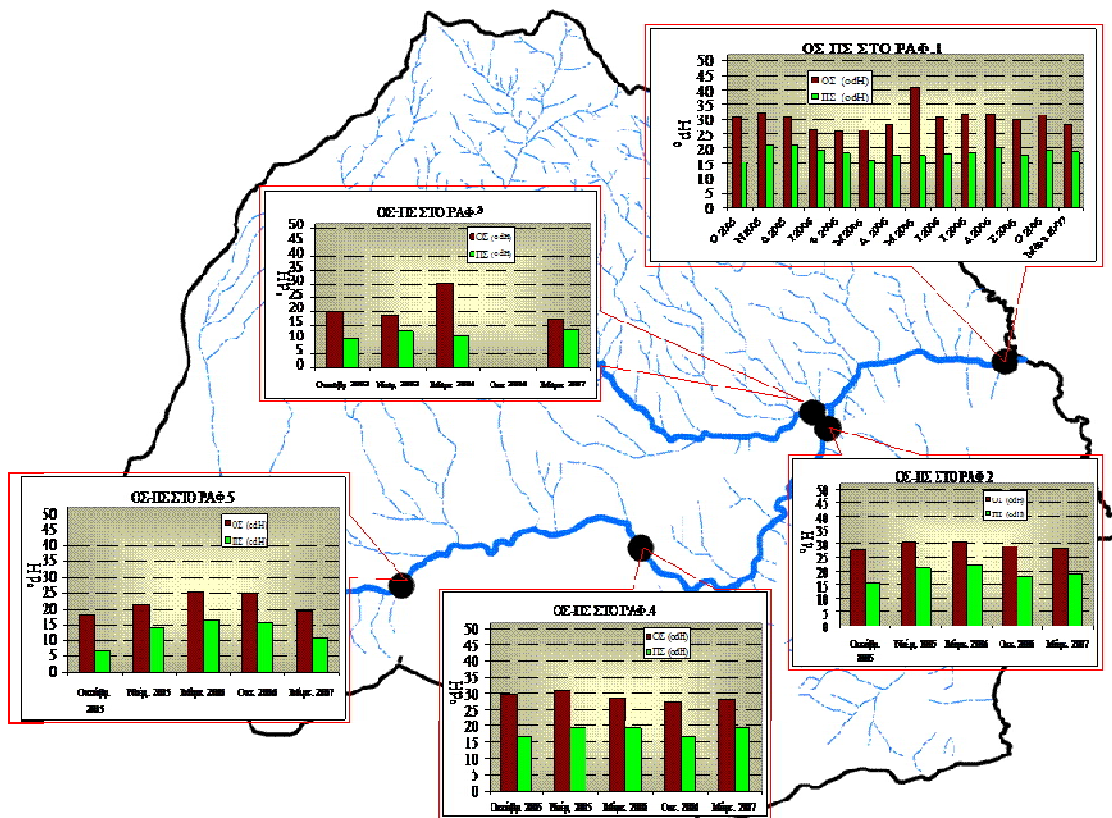
Σχήμα 8.118: Σχέση παροχής - φωσφορικών ιόντων στο σημείο Ερ.2

Παρόμοια αντιστρόφως ανάλογη σχέση της παροχής παρατηρείται και με τα φωσφορικά και θειικά ιόντα σε όλα τα εξετασθέντα επιφανειακά ύδατα της περιοχής

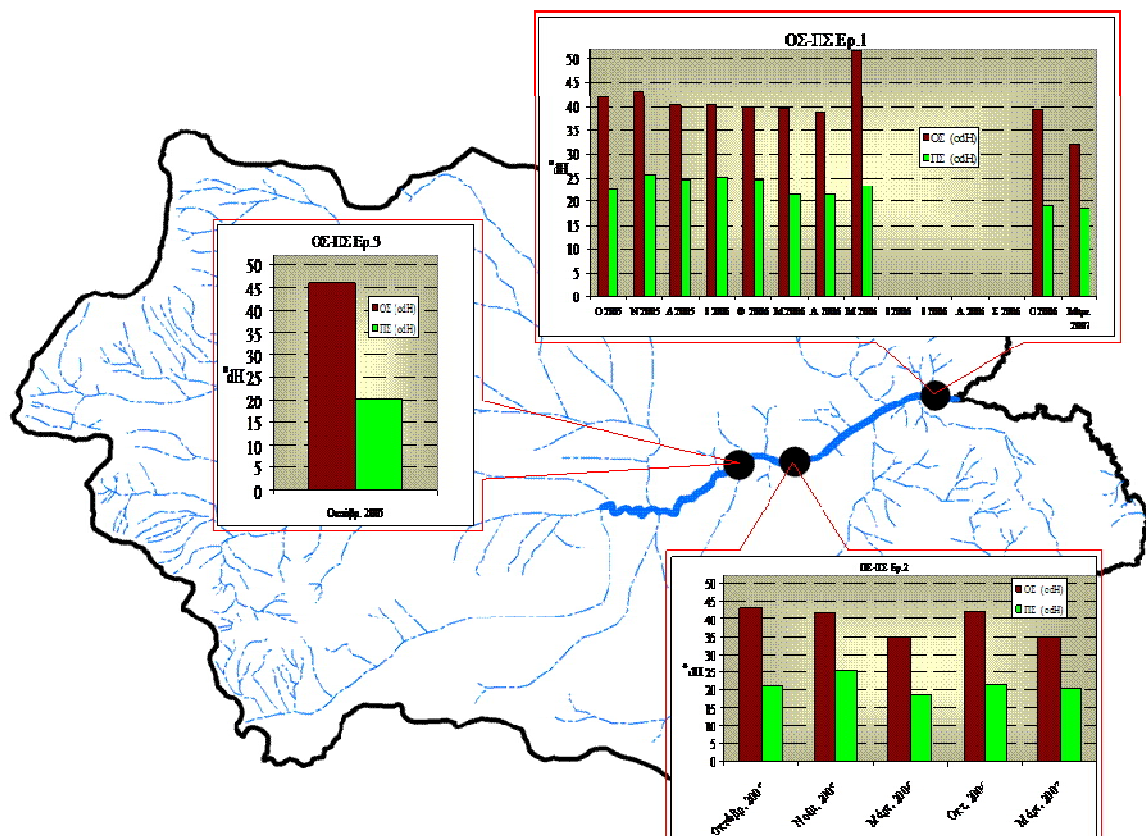
πλην των παραπόταμων Ερ.2 και Ερ.3. Στην θέση αυτή, η αναλογία της παροχής με τα φωσφορικά ιόντα παρουσιάζεται με καλή θετική γραμμική συσχέτιση (σχήμα 8.118), κάτι που πιθανότατα οφείλεται στην εφαρμογή φωσφορικών λιπασμάτων στο νότιο τμήμα του καλλιεργούμενου κάμπου Μεσογείων (Καλλιέργης 2000, [www.extension.umn.edu/info-u/environment/BD282.html](http://www.extension.umn.edu/info-u/environment/BD282.html)). Στο συγκεκριμένο παραπόταμο, κάποιες ημέρες δειγματοληψίας εθεάθησαν φουσκάλες και ελαφρές αποχρώσεις, κάτι που οδηγεί σε εικασίες ρύψης αποβλήτων που περιέχουν τα φωσφορικά ιόντα (όπως τα απορρυπαντικά). Αρκετοί ιδιοκτήτες γειτονικών του Ερασίνου κτημάτων, διαμαρτυρήθηκαν πως οι καλλιέργειές τους υπέστησαν σοβαρές ζημιές τα τελευταία 10 χρόνια, λόγω της μεταφοράς μεγάλης ποσότητας ρυπαντικού φορτίου από το συγκεκριμένο ποτάμι. Η διαπίστωση υπερχειλίσης του βιολογικού καθαρισμού των αποβλήτων του αεροδρομίου «Ελ. Βενιζέλος» τις βροχερές ημέρες (Βαφειάδης, 2011) έγινε αντιληπτή, με αποτέλεσμα το αεροδρόμιο να προβεί σε αναβάθμιση των εγκαταστάσεων, έργο που ολοκληρώθηκε μετά την τελευταία δειγματοληψία της παρούσας έρευνας.

**Ολική σκληρότητα (TH):** Η ολική σκληρότητα, όπως προαναφέρθηκε εκφράζει το σύνολο των διαλυμένων αλάτων ασβεστίου  $Ca^{2+}$  και μαγνησίου  $Mg^{2+}$ . Βασικοί παράγοντες της υψηλής σκληρότητας αποτελούν οι υψηλές συγκεντρώσεις των ιόντων ασβεστίου και του μαγνησίου, αλλά και των οξυανθρακικών ιόντων που αυξάνουν την ανθρακική σκληρότητα αλλά και των θεικών και χλωριόντων που αυξάνουν την παρουσία της μόνιμης σκληρότητας. Η σκληρότητα μαζί με την ηλεκτρική αγωγιμότητα δίνουν σημαντικές πληροφορίες για τις συγκεντρώσεις των διαλυμένων αλάτων. Η έκπλυση χημικών λιπασμάτων προς τα επιφανειακά ύδατα αλλά και η μίξη με θαλασσινό νερό κοντά στην εκβολή συντελούν αθροιστικά στην αύξηση της σκληρότητας (Bellos and Sawidis, 2005). Υψηλές τιμές σκληρότητας συνήθως αναμένονται κατά την ξηρή περίοδο λόγω της έκπλυσης των εφαρμοσθέντων κατά την άνοιξη λιπασμάτων και λοιπών αγροχημικών. Σε Μεσογειακές περιοχές όπου οι ποταμοί διέρχονται από ασβεστολιθικά υποστρώματα, η σκληρότητα παρατηρείται αυξημένη λόγω αύξησης της μεταλλικότητας των εδαφών (Μπέλλος, 2004).

*α) Μεγάλο Ρέμα Ραφήνας:* Οι τιμές ολικής σκληρότητας κατά μήκος του Μεγάλου Ρέματος παρουσιάζουν ραγδαία αύξηση προς την εκβολή τους ξηρούς μήνες λόγω της χαμηλής παροχής ύδατος, ενώ τους υγρούς μήνες παρουσιάζουν παρεμφερείς τιμές, κοντά στους 26 °dH τον Μάρτιο 2006 και κοντά στους 28 °dH το Μάρτιο 2007 (σχήμα 8.119). Οι υψηλές τιμές ολικής σκληρότητας που παρατηρούνται στην εκβολή του Μεγάλου Ρέματος τους ξηρούς μήνες αποδίδονται κυρίως στη μίξη με θαλασσινό νερό (Bellos and Sawidis, 2005). Η υψηλότερη τιμή (40,7 °dH) παρατηρείται στην εκβολή του Μεγάλου Ρέματος κι αποδίδεται σε έκπλυση από τα πρόσφατα εφαρμοσθέντα αγροχημικά στους αγρούς και σε εισροή θαλασσινού σπρέι. Οι χαμηλότερες τιμές ολικής σκληρότητας παρατηρήθηκαν στον παραπόταμο Βαλανήρη (Ραφ.3) κι αποδίδονται στα καλύτερης ποιότητας ύδατα που προέρχονται από τα πρηνή του όρους Πεντέλη (Chatzinikolaou and Lazaridou, 2007). Στον ίδιο κλάδο, η ολική σκληρότητα παρατηρήθηκε το Μάρτιο του 2006 αυξημένη (30 °dH) λόγω έκπλυσης αγροχημικών απ' τους γειτονικούς αγρούς.



Σχήμα 8.119: Οι τιμές ολικής κι ανθρακικής σκληρότητας (°dH) στα επιφανειακά ύδατα του Μεγάλου Ρέματος



Σχήμα 8.120: Οι τιμές ολικής κι ανθρακικής σκληρότητας (°dH) στα επιφανειακά ύδατα του Ερασίνου

*β) Ερασίνο:* Η ολική σκληρότητα, που εκφράζει το σύνολο των διαλυμένων αλάτων ασβεστίου  $\text{Ca}^{2+}$  και μαγνησίου  $\text{Mg}^{2+}$ , παρουσιάζει πολύ υψηλότερες τιμές στον ποταμό Ερασίνο συγκριτικά με αυτές του Μεγάλου Ρέματος. Αυτό οφείλεται στις αυξημένες τιμές ασβεστίου που παρατηρούνται κατά μήκος του Ερασίνου. Σε αντίθεση επίσης με το Μεγάλο Ρέμα, οι τιμές ολικής σκληρότητας στον Ερασίνο μειώνονται προς τα κατάντη. Οι υψηλές τιμές ολικής σκληρότητας στα σημεία Ερ.2 και Ερ.3 κοντά στην περιοχή του αεροδρομίου αποδίδονται κυρίως στην έκπλυση από εφαρμογή λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων (Bellos and Sawidis, 2005).

Τον Οκτώβριο του 2005 οι τιμές ολικής σκληρότητας προς τα κατάντη ήταν 46,1<sup>o</sup>dH στο σημείο Ερ.3, στο Ερ.2 43,3<sup>o</sup>dH και στο Ερ.1 41,9<sup>o</sup>dH. Το ίδιο μοτίβο μείωσης προς τα κατάντη παρατηρείται σε κάθε δειγματοληψία, πλην του Μαρτίου 2006 που η ολική σκληρότητα του Ερασίνου (39,6<sup>o</sup>dH) παρατηρήθηκε μεγαλύτερη από την ανάντη του σημείου Ερ.2 (35,1<sup>o</sup>dH), κάτι που αποδίδεται στην αύξηση των τιμών από τη διάλυση των ασβεστολιθικών πετρωμάτων των υποστρωμάτων του ποταμού. Η μέγιστη τιμή στον ποταμό Ερασίνο (51,7<sup>o</sup>dH) εντοπίστηκε την ξηρή περίοδο (Μάιος 2006) κι αποδίδεται στη χαμηλή παροχή ύδατος (Μπέλλος, 2004).

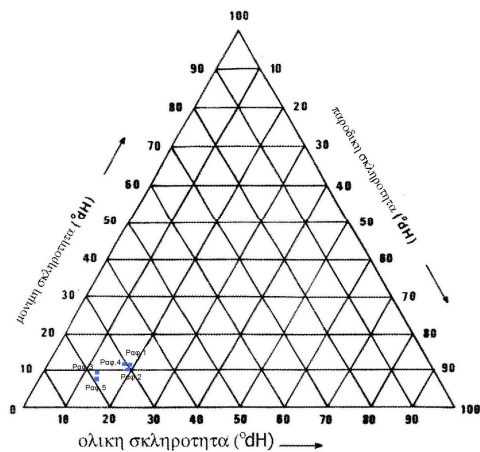
**Ανθρακική σκληρότητα (kH):** Η ανθρακική ή παροδική σκληρότητα όπως προαναφέρθηκε ορίζεται ως το σύνολο των κατιόντων ασβεστίου  $\text{Ca}^{2+}$  και μαγνησίου  $\text{Mg}^{2+}$  που είναι ενωμένα με την οξυανθρακική ρίζα ( $\text{HCO}_3^-$ ).

*α) Μεγάλο Ρέμα Ραφήνας:* Οι τιμές ανθρακικής σκληρότητας κατά μήκος του Μεγάλου Ρέματος δεν παρουσιάζουν μεγάλες διακυμάνσεις. Οι τιμές είναι παρεμφερείς στα σημεία Ραφ.1, Ραφ.2 και Ραφ.4 ανεξαρτήτως του χρόνου δειγματοληψίας, ενώ στα σημεία Ραφ.3 και Ραφ. 5 που εκβάλλουν από τα πρανή της Πεντέλης και του Υμηττού αντίστοιχα η ανθρακική σκληρότητα είναι σημαντικά χαμηλότερη.

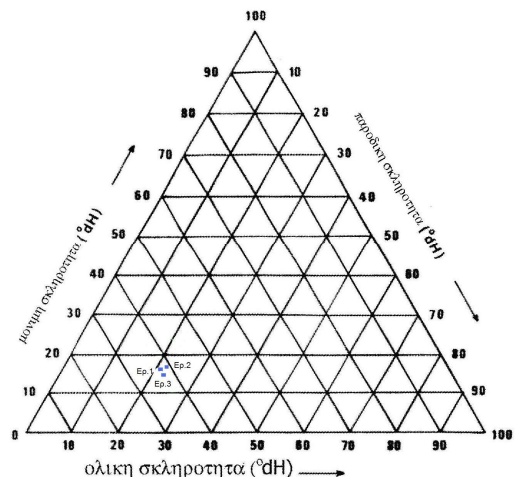
Στο σχήμα 8.119 παρουσιάζονται οι τιμές ολικής σκληρότητας σε αντιδιαστολή με τις τιμές ανθρακικής σκληρότητας στα 5 σημεία του Μεγάλου Ρέματος. Παρατηρείται εποχιακή διακύμανση των τιμών της ολικής σκληρότητας και πιο σταθερές τιμές ανθρακικής σκληρότητας. Η μικρή διακύμανση των τιμών ανθρ. σκληρότητας αποδίδεται στη γεωγενή προέλευση αυτής. Η εισροή πιθανών ρύπων δεν επηρεάζει την τιμή της ανθρακικής σκληρότητας.

Το μεγάλο εύρος τιμών της ολικής σκληρότητας σε αντιδιαστολή με τις σταθερές τιμές ανθρακικής σκληρότητας φαίνονται και στο τριγωνικό διάγραμμα σκληρότητας των επιφανειακών υδάτων του Μεγάλου Ρέματος του σχήματος 8.121. Από το σχήμα αυτό προκύπτει η διαφοροποίηση της σκληρότητας των υδάτων που βρίσκονται κοντά στα πρανή του Υμηττού και της Πεντέλης (Ραφ.5 και Ραφ.3 αντίστοιχα) με τα ύδατα των κατάντη σημείων (Ραφ.4, Ραφ.2 και Ραφ.1).





Σχήμα 8.121: Τριγωνικό διάγραμμα σκληρότητας Μεγάλου Ρέματος



Σχήμα 8.122: Τριγωνικό διάγραμμα σκληρότητας Ερασίνου

**β) Ερασίνος:** Η ανθρακική ή παροδική σκληρότητα δεν παρουσιάζει μεγάλες διακυμάνσεις κατά μήκος του Ερασίνου. Οι τιμές είναι παρεμφερείς στα σημεία Ερ.1, Ερ.2 και Ερ.3 ανεξαρτήτως του χρόνου δειγματοληψίας. Το μεγαλύτερο εύρος τιμών παρατηρείται στην εκβολή και κυμαίνονται από 18,8 °dH (Μάρτιος 2007) έως 25,8 °dH (Νοέμβριος 2005).

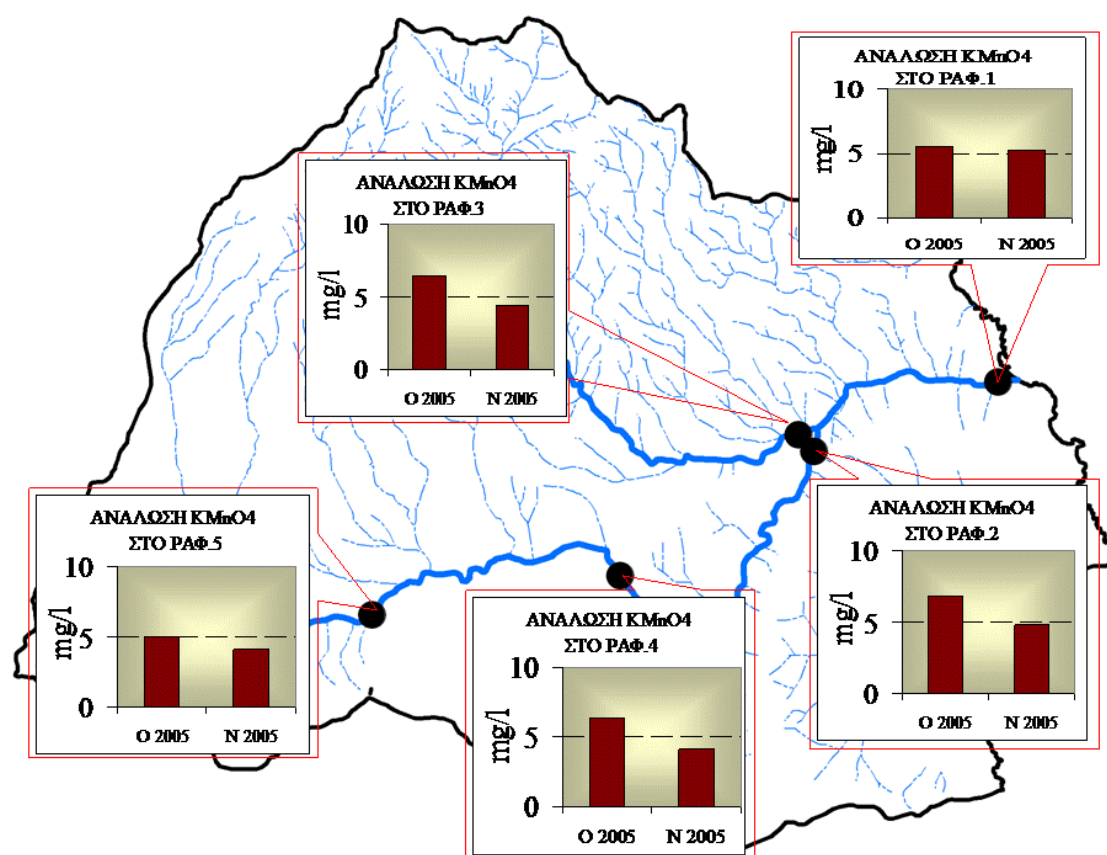
Στο σχήμα 8.120 παρουσιάζονται οι τιμές ολικής σκληρότητας σε αντιδιαστολή με τις τιμές ανθρακικής σκληρότητας στα 3 σημεία του Ερασίνου. Παρατηρούνται σταθερές τιμές ανθρακικής σκληρότητας και εποχιακή διακύμανση της ολικής σκληρότητας. Η μικρή διακύμανση των τιμών ανθρακικής σκληρότητας αποδίδεται στη γεωγενή προέλευση αυτής. Το μεγάλο εύρος τιμών της ολικής σκληρότητας σε αντιδιαστολή με τις σταθερές τιμές ανθρακικής σκληρότητας φαίνονται και στο τριγωνικό διάγραμμα σκληρότητας των επιφανειακών υδάτων του σχήματος 8.122.

**Ανάλωση  $KMnO_4$ :** Για τον έλεγχο ύπαρξης οργανικών ρυπαντικών ουσιών εφαρμόστηκε η μέθοδος ανάλωσης  $KMnO_4$  που δείχνει το φορτίο οργανικής ύλης που οξειδώθηκε. Ο έλεγχος έγινε τους μήνες Οκτώβριο 2005, πριν τις πρώτες φθινοπωρινές βροχές και το Νοέμβριο 2005 μετά την πτώση των πρώτων κατακρημνισμάτων. Στα σχήματα 8.123 και 8.124 παρουσιάζονται οι τιμές ανάλωσης  $KMnO_4$  στα πέντε σημεία του Μεγάλου Ρέματος και στα τρία σημεία του Ερασίνου.

**α) Μεγάλο Ρέμα Ραφήνας:** Τον Οκτώβριο του 2005, η υψηλότερη τιμή ανάλωσης  $KMnO_4$  (6,9 mg/l) εντοπίστηκε στον κλάδο Ραφ.2 που περιβάλλεται από αγροτεμάχια. Οι τιμές στους κλάδους Ραφ.3 και Ραφ.4 είναι παραπλήσιες (6,5 και 6,4 mg/l αντίστοιχα) αποδιδόμενες σε μικρότερο φορτίο οργανικής ύλης που πιθανότατα προήλθε από εφαρμοσμένα αγροχημικά στις όμορες καλλιέργειες. Το ποτάμι που περνάει κάθετα απ' τη λεωφόρο Σπάτων (Ραφ.5) παρουσιάζει τη μικρότερη τιμή. Η οργανική ύλη στην εκβολή του Μεγάλου Ρέματος είναι μειωμένη συγκριτικά με τα αυτήν στα ανάντη ποτάμια Ραφ.2, Ραφ.3 και Ραφ.4, προφανώς λόγω σταδιακής αφομοίωσης από το πλαγκτόν (Skoulikidis, 1991). Τον Νοέμβριο του 2005 οι τιμές ανάλωσης  $KMnO_4$  μειώνονται αισθητά, λόγω της αραίωσης της οργανικής ύλης με το βρόχινο νερό κι αυξάνονται κατά μήκος τους Μεγάλους Ρέματος οδεύοντας προς την εκβολή. Αυτό οφείλεται στο ότι οι συνθήκες ανομβρίας ευνοούν τη σταδιακή καθίζηση κι αφομοίωση από το πλαγκτόν ενώ η αυξημένη ροή των ποταμών ευνοεί τη μεταφορά της οργανικής ύλης προς τα κατάντη. Τον Νοέμβριο



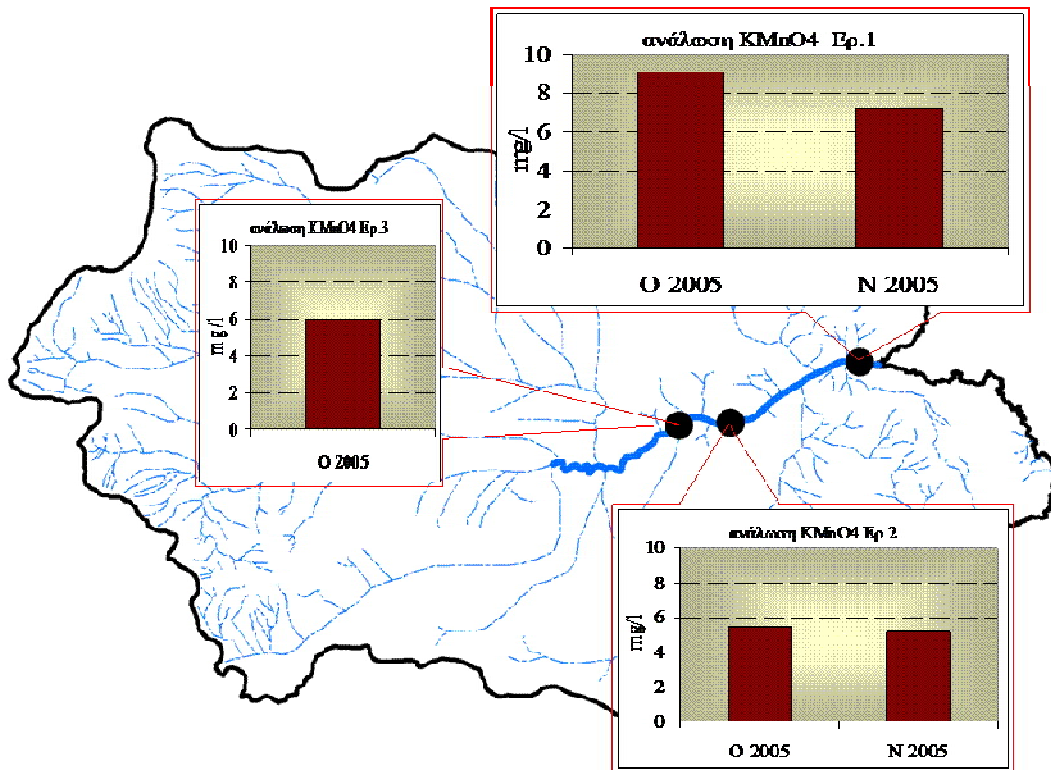
του 2005 η ελάχιστη τιμή (4,1 mg/l) παρατηρήθηκε στους παραποτάμους των περιοχών Φοίνικα (Ραφ.4) και Σπάτων (Ραφ.5) ενώ η μέγιστη (5,2 mg/l) στην εκβολή του Μεγάλου Ρέματος (Ραφ.1).



Σχήμα 8.123: Οι τιμές ανάλωσης  $\text{KMnO}_4$  (mg/l) στα επιφανειακά ύδατα του Μεγάλου Ρέματος

*β) Ερασίνο:* Η ανάλωση οξείδωσης της οργανικής ύλης με  $\text{KMnO}_4$  έδειξε μεγάλη συγκέντρωση οργανικού φορτίου (9,1 mg/l) στην εκβολή του Ερασίνο τον Οκτώβριο του 2005, την μεγαλύτερη στην ευρύτερη περιοχή. Η συγκέντρωση οργανικού φορτίου τον ερχόμενο μήνα (Νοέμβριο 2005) μετά από πτώση μεγάλου ύψους κατακρημνισμάτων εμφάνισε μικρή μείωση (7,2 mg/l) στην εκβολή του Ερασίνο. Οι υψηλές τιμές οργανικής ύλης στην εκβολή αποδίδονται σε προσθήκη οργανικού φορτίου από παρακείμενους αγρούς και κτηνοτροφικές εγκαταστάσεις.

Ενδιαφέρον παρουσιάζει η χαμηλότερη τιμή συγκέντρωσης οργανικής ύλης στο ενδιάμεσο τμήμα Ερ.2 (5,5 mg/l ανάλωση  $\text{KMnO}_4$ ). Αυτό συνεπάγεται προσθήκη οργανικού φορτίου κοντά στο σημείο Ερ.3 (6,0 mg/l ανάλωση  $\text{KMnO}_4$ ) που αφομοιώνεται από το πλαγκτόν και καθιζάνει οδεύοντας προς το σημείο Ερ.2. Το τελικό σημείο Ερ.1 δέχεται το μεγαλύτερο οργανικό φορτίο καθώς βρίσκεται πλησίον μεγάλων εκτάσεων αγροτικών αλλά και κτηνοτροφικών δραστηριοτήτων (σχήμα 8.124).



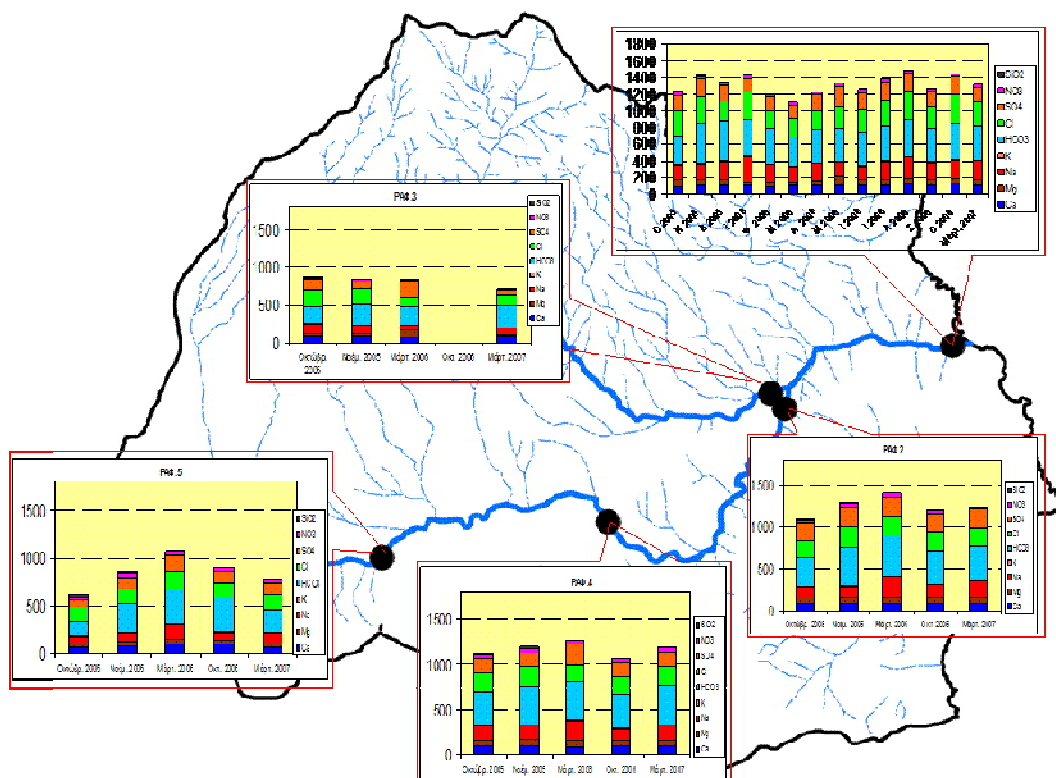
Σχήμα 8.124: Οι τιμές ανάλωσης KMnO<sub>4</sub> (mg/l) στα επιφανειακά ύδατα του Ερασίνου

### 8.5.3.2 Κύρια στοιχεία

- **Ιόντα ασβεστίου (Ca<sup>2+</sup>)**

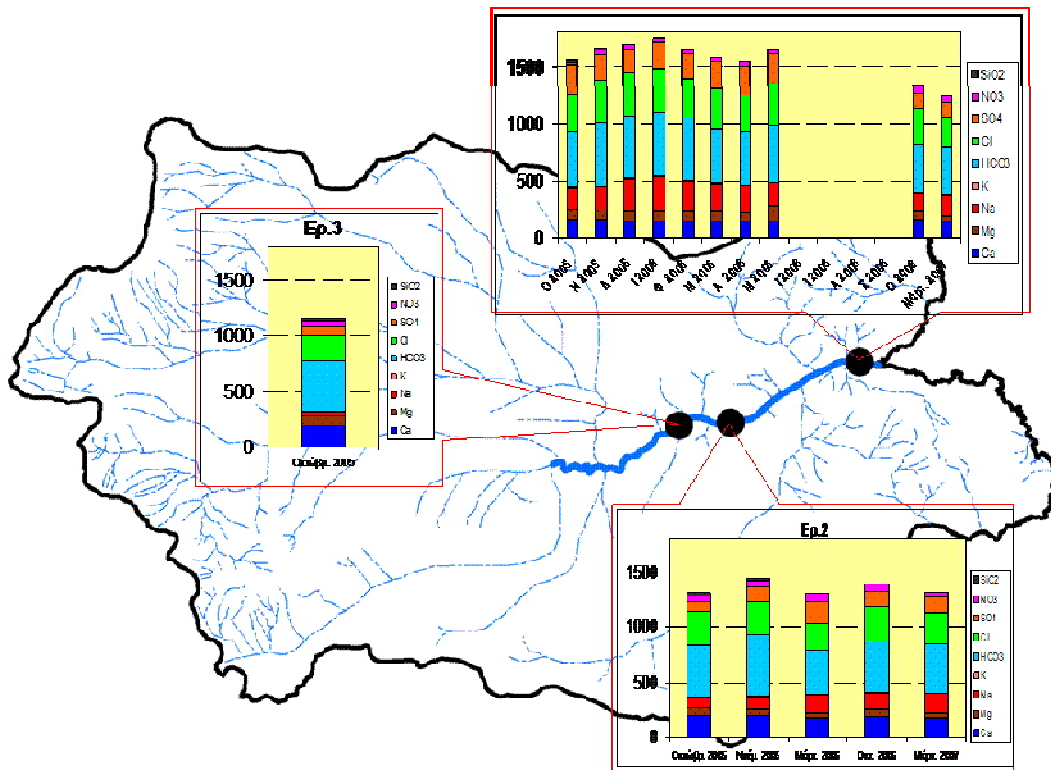
Η ύπαρξη ασβεστίου στα ποτάμια αποδίδεται στη διάβρωση πετρωμάτων όπως ο ασβεστίτης (CaCO<sub>3</sub>), ο γύψος (CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O), ο ανυδρίτης (CaSO<sub>4</sub>), ο δολομίτης στο γεωλογικό τους υπόστρωμα.

*α) Μεγάλο Ρέμα Ραφήνας:* Οι τιμές κατά μήκος του Μεγάλου Ρέματος παρουσιάζουν τάσεις αύξησης προς την εκβολή, πιθανότατα λόγω αθροιστικής συσσώρευσης. Τα μεγαλύτερα εύρη τιμών στις συγκεντρώσεις ασβεστίου παρατηρήθηκαν στο κεντρικό τμήμα ροής του ποταμού (Ραφ.5) με τιμές που κυμαίνονται από 64-114 mg/l. Προφανώς η διάβρωση των τεταρτογενών και νεογενών σχηματισμών των ποτάμιων υποστρωμάτων του Μεγάλου Ρέματος εμπλουτίζει τα επιφανειακά νερά με συγκεντρώσεις ασβεστίου που ποικίλουν ανάλογα τον όγκο των κατακρημνισμάτων και τη ροή του ποταμού. Στα κατάντη τμήματα του ποταμού οι συγκεντρώσεις ασβεστίου παρουσιάζουν μικρά εύρη, όπως διαπιστώνεται στις θέσεις Ραφ.4: 87-101 mg/l και Ραφ.2: 94-98 mg/l. Ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι τιμές του παραπόταμου Βαλανήρη (Ραφ.3: 96-137 mg/l) που παρατηρούνται αυξημένες συγκριτικά με αυτές του κεντρικού κλάδου Ραφ.2 :93,6-97,6mg/l που σχετίζονται προφανώς με τη διάλυση των ανθρακικών πετρωμάτων των μεταμορφωμένων σχηματισμών της Πεντέλης. Οι ελάχιστες τιμές συγκεντρώσεων ασβεστίου στο Μεγάλο Ρέμα είναι παρεμφερείς με τις αντίστοιχες μέσες τιμές του Σπερχειού (77,8 mg/l), του Γαλλικού (62,4 mg/l) και του Πηνειού (61,2 mg/l) (Skoulikidis, 1997). Οι υπόλοιποι μεγάλοι ποταμοί της Ελλάδος παρουσιάζουν πολύ χαμηλότερες συγκεντρώσεις ασβεστίου από αυτές του Μεγάλου Ρέματος, που σχετίζεται με την λιθολογία της λεκάνης απορροής τους και κυρίως με τον μεγάλο όγκο απορροής. Στο σχήμα 8.125 παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις των συγκεντρώσεων όλων των κύριων στοιχείων στα 5 σημεία του Μεγάλου Ρέματος.



Σχήμα 8.125: Συγκεντρώσεις κύριων στοιχείων (mg/l) στα επιφανειακά ύδατα του Μεγάλου Ρέματος

**β) Ερασίνο:** Οι συγκεντρώσεις ιόντων ασβεστίου στον ποταμό Ερασίνο, όπως κι οι τιμές ολικής σκληρότητας είναι σημαντικά υψηλότερες από τις αντίστοιχες του Μεγάλου Ρέματος. Το γεγονός αυτό σχετίζεται προφανώς με την εισροή των επιφανειακών νερών του Βαλανήρη στο Μεγάλο Ρέμα που προέρχονται από τα πρηνή της Πεντέλης και παρουσιάζουν αρκετά χαμηλότερες συγκεντρώσεις στα διάφορα στοιχεία, λόγω των μεταμορφωμένων σχηματισμών του υποβάθρου που ανθίστανται στην διάβρωση κατά τη ροή του ποταμού. Αντίθετα ο Ερασίνο διέρχεται σε όλη την διαδρομή του μέσα από Τεταρτογενείς και Νεογενείς σχηματισμούς, οι οποίοι διαβρώνονται πολύ ευκολότερα σε σχέση με τους συμπαγείς μεταμορφωμένους σχηματισμούς. Οι συγκεντρώσεις ασβεστίου κατά μήκος του Ερασίνου, έχουν τάση μείωσης προς την εκβολή – σε αντίθεση με αυτές του Μεγάλου Ρέματος. Οι τιμές κατά τη διάρκεια του υδρολογικού έτους 2005-2006 παρουσιάζουν ελάχιστες διακυμάνσεις, ήτοι από 155,2 mg/l (Φεβρουάριος 2006) έως 166,4 mg/l (Νοέμβριος 2005). Η χαμηλότερη τιμή παρατηρήθηκε το Μάρτιο του 2007 (152,8 mg/l) και η υψηλότερη τον Οκτώβριο του 2006 (169,6 mg/l). Μεγαλύτερα εύρη τιμών παρατηρούνται στα ανάντη σημεία του ρέματος (Er.2), όπου οι συγκεντρώσεις ασβεστίου κυμαίνονται από 172 έως 200 mg/l. Οι συγκεντρώσεις αυτές ξεπερνούν κατά πολύ τις αντίστοιχες μέσες συγκεντρώσεις των μεγαλύτερων ποταμών της Ελλάδας (Skoulikidis, 1997) λόγω διάλυσης μεγαλύτερων ποσοστών ανθρακικών πετρωμάτων στα υποστρώματα του Ερασίνου. Στο σχήμα 8.126 παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις των συγκεντρώσεων όλων των κύριων στοιχείων στα 3 σημεία του Ερασίνου.



Σχήμα 8.126: Συγκεντρώσεις κύριων στοιχείων (mg/l) στα επιφανειακά ύδατα του Ερασίνου

- **Ιόντα μαγνησίου  $Mg^{2+}$**

Η ύπαρξη μαγνησίου στα ποτάμια αποδίδεται στη διάβρωση πετρωμάτων όπως οι δολομίτες, οι δολομιτικοί ψαμμίτες, οι δολομιτικές κι οι μαγνησιούχες μάργες (Apello & Postma 1996, Καλλέργης 2000).

*α) Μεγάλο Ρέμα Ραφήνας:* Κατά μήκος του Μεγάλου Ρέματος παρατηρούνται αυξομειώσεις των συγκεντρώσεων μαγνησίου. Στις θέσεις Ραφ.2 και Ραφ.4 του κεντρικού τμήματος παρουσιάζονται παρεμφερείς συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από 60 έως 76 mg/l. Οι κλάδοι αυτοί παρουσιάζουν και τις μέγιστες τιμές της περιοχής, με εξαίρεση την τιμή 76 mg/l στην εκβολή (Ραφ.1) τον Οκτώβριο του 2005, που αποδίδονται σε διάλυση μαγνησιούχων ορυκτών των ποτάμιων υποστρωμάτων. Τις χαμηλότερες τιμές παρουσιάζει ο παραπόταμος Βαλανήρης (Ραφ.3: 15-24 mg/l) με εξαίρεση την τιμή 76 mg/l τον Μάρτιο του 2006. Επίσης χαμηλές τιμές συγκέντρωσης μαγνησίου παρουσιάζονται στο ανάντη τμήμα του ποταμού (Ραφ.5: 39-44 mg/l). Η εκβολή του Μεγάλου Ρέματος παρουσιάζει μεγάλες διακυμάνσεις στις τιμές των συγκεντρώσεων μαγνησίου με εύρος από 49,1 mg/l (Μάρτιος 2007) έως 110,6 mg/l (Μάιος 2006) κι αποδίδεται κυρίως στην επίδραση της θάλασσας μέσω αερομεταφοράς σταγονιδίων. Η μείωση των τιμών συγκριτικά με τις ανάντη τιμές των θέσεων Ραφ.2 και Ραφ.4 οφείλεται προφανώς σε διαδικασίες καθίζησης και ιζηματογένεσης και σε αραιώσεις λόγω εισροής νερών με χαμηλές συγκεντρώσεις μαγνησίου (Skoulikidis 1991). Οι συγκεντρώσεις μαγνησίου στα σημεία του κύριου Ρέματος (1, 2, 4 και 5) ξεπερνούν τις αντίστοιχες των μεγαλύτερων ποταμών της Ελλάδας, κυρίως λόγω αραιώσης των αλάτων μαγνησίου με μεγαλύτερους όγκους νερού, πρωτίστως όμως λόγω γειτνίασης των εν λόγω ποταμών της περιοχής έρευνας με την θάλασσα. Οι χαμηλότερες τιμές στον κλάδο Βαλανήρη συμπίπτουν με τις μέσες συγκεντρώσεις μαγνησίου του Αλιάκμονα (Skoulikidis 1997).

β) Ερασίνο: Οι συγκεντρώσεις ιόντων μαγνησίου κατά μήκος του Ερασίνου αυξάνονται προς την εκβολή λόγω διάβρωσης των παρακείμενων και υποκείμενων του ποταμού Τεταρτογενών και Νεογενών ιζημάτων. Οι συγκεντρώσεις μαγνησίου στην εκβολή κυμαίνονται από 46,7 mg/l (Μάρτιος 2007) έως 129 mg/l (Μάιος 2006). Η ελάχιστη κι η μέγιστη συγκέντρωση μαγνησίου στο Μεγάλο Ρέμα παρατηρήθηκαν τους ίδιους μήνες κάτι που αποδίδεται στην αραίωση των συγκεντρώσεων τον Μάρτιο του 2007 με τα προηγούμενα κατακρημνίσματα και την αύξηση αυτών τον άνομβρο μήνα Μάιο 2006. Οι συγκεντρώσεις μαγνησίου στα ανάντη (Ερ.2) κυμαίνονται από 46,8 έως 66,3 mg/l. Οι τιμές είναι πολύ μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες των μεγαλύτερων ποταμών της Ελλάδας (Skoulikidis, 1997) λόγω αραίωσης των αλάτων μαγνησίου με μεγαλύτερους όγκους νερού.

- **Ιόντα νατρίου ( $Na^+$ )**

Το νάτριο στα ποτάμια αποδίδεται σε διάλυση εβαποριτικών πετρωμάτων αλλά και σε πτώση κατακρημνισμάτων που έχουν εμπλουτιστεί με θαλάσσιο σπρέι (Skoulikidis, 1993).

α) Μεγάλο Ρέμα Ραφήνας: Τα ιόντα νατρίου παρουσιάζουν αυξητική τάση κατά μήκος του Μεγάλου Ρέματος προς την εκβολή. Στο κεντρικό τμήμα Ραφ.2 και Ραφ.4 παρουσιάζονται παρεμφερείς συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από 126-242 mg/l και από 128-210 mg/l αντίστοιχα. Στα σημεία Ραφ. 5 και Ραφ.3 παρατηρήθηκαν οι πιο χαμηλές τιμές με εύρος 76-150 mg/l και 61-120 mg/l αντίστοιχα. Ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι μετρήσεις των συγκεντρώσεων νατρίου τον Μάρτιο του 2006, όπου στις θέσεις του Μεγάλου Ρέματος Ραφ.2, Ραφ.4 και Ραφ.5 παρατηρήθηκαν οι υψηλότερες τιμές, ενώ στον κλάδο του Βαλανήρη Ραφ.3 παρατηρήθηκε η χαμηλότερη τιμή. Το γεγονός αυτό συνδέεται προφανώς με τη διάλυση υπολειμματικών εβαποριτικών αλάτων που συνυπάρχουν εντός των νεογενών ιζημάτων της λεκάνης, μέσα από τους οποίους διέρχεται ο κύριος κλάδος του Μεγάλου Ρέματος. Ο κλάδος Ραφ.3 προέρχεται από τα πρηνή της Πεντέλης, τα οποία τροφοδοτούν με φρέσκο νερό τον Βαλανήρη κι οποιαδήποτε πτώση κατακρημνισμάτων δείχνει να αραιώνει και κατά συνέπεια να βελτιώνει την ποιότητα του νερού.

Οι συγκεντρώσεις νατρίου στην εκβολή του Μεγάλου Ρέματος της Ραφήνας κυμαίνονται από 155 mg/l (Ιούνιος 2006) έως 290 mg/l (Ιανουάριος 2006) και δείχνουν να είναι ανεξάρτητες της χρονικής περιόδου. Αυτό οφείλεται πιθανότατα στην γειτνιάζουσα θάλασσα που επηρεάζει τη χημική σύσταση της εκβολής. Παράγοντες όπως η υψηλή θερμοκρασία, η ταχύτητα κι η διεύθυνση του ανέμου συντελούν στον εμπλουτισμό της εκβολής με ιόντα νατρίου από την θάλασσα. Οι συγκεντρώσεις νατρίου του Μεγάλου Ρέματος ξεπερνούν κατά πολύ τις αντίστοιχες μέσες τιμές των μεγαλύτερων ποταμών της Ελλάδας (Skoulikidis, 1997).

β) Ερασίνο: Οι συγκεντρώσεις των ιόντων νατρίου παρουσιάζουν αυξητική τάση προς την εκβολή του Ερασίνου, όπως και στο Μεγάλο Ρέμα. Οι τιμές τους αποδίδονται στη διάβρωση εβαποριτικών πετρωμάτων αλλά και στον εμπλουτισμό με θαλάσσιο ύδωρ, είτε μέσω των κατακρημνισμάτων είτε με μεταφορά σταγονιδίων από τη γειτνιάζουσα θάλασσα με τη βοήθεια του ανέμου (Skoulikidis, 1993).

Οι συγκεντρώσεις νατρίου στην εκβολή του Ερασίνου κυμαίνονται από 154 mg/l (Οκτώβριος 2006) έως 300 mg/l (Ιανουάριος 2006). Στην ανάντη θέση Ερ.2 οι τιμές κυμαίνονται από 95 mg/l (Οκτώβριος 2005) έως 179,5 mg/l (Μάρτιος 2007). Οι χαμηλότερες συγκεντρώσεις παρατηρήθηκαν στα ανάντη του ρέματος, στη θέση Ερ.3 (45 mg/l). Οι συγκεντρώσεις νατρίου του Ερασίνου, όπως και του Μεγάλου Ρέματος, ξεπερνούν κατά πολύ τις μέσες συγκεντρώσεις νατρίου των μεγαλύτερων ποταμών



της Ελλάδας (Skoulikidis, 1997). Αυτό σχετίζεται αφενός με την παρουσία και την διάλυση υπολειμματικών εβαποριτικών αλάτων στα υποστρώματα του Ερασίνου, της γειτνίασης με την θάλασσα και αφετέρου με την αραίωση των αλάτων νατρίου στους μεγάλους ποταμούς λόγω μεταφοράς μεγαλύτερων όγκων επιφανειακού νερού.

- **Ιόντα καλίου  $K^+$**

Το κάλιο έχει την ιδιότητα να απορροφάται από τα εδαφικά σωματίδια και να μην εκπλένεται προς τους υδροφόρους (Καλλέργης, 2000). Ως εκ τούτου, πιθανή διάβρωση του εδάφους οδηγεί σε μεταφορά του προς τους ποταμούς. Η ύπαρξη του καλίου στα ποτάμια αποδίδεται κυρίως σε διάλυση αργιλικών ορυκτών των Τεταρτογενών και Νεογενών σχηματισμών καθώς και σε προσθήκη λιπασμάτων (Skoulikidis, 1993).

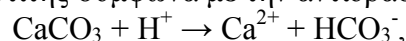
α) Μεγάλο Ρέμα Ραφήνας: Κατά μήκος του Μεγάλου Ρέματος παρατηρούνται αυξομειώσεις στις συγκεντρώσεις καλίου, ωστόσο οι μέγιστες συγκεντρώσεις παρατηρούνται σε κάθε δειγματοληψία στην εκβολή, κάτι που αποδίδεται στη γειτνιάζουσα θάλασσα που εμπλουτίζει το νερό της εκβολής (Ραφ.1) με θαλάσσιο σπρέι (Skoulikidis, 1993). Οι αυξομειώσεις στα σημεία των ανάντη της εκβολής σημείων πιθανόν να αποδίδονται σε τροφοδοσία ιόντων καλίου απ' τις παρακείμενες καλλιέργειες στις οποίες έχουν εφαρμοστεί καλιούχα λιπάσματα (Skoulikidis, 1997). Την καλύτερη ποιότητα παρουσιάζει ο κλάδος Βαλανήρης (Ραφ.3) λόγω της τροφοδοσίας απ' το βουνό της Πεντέλης, όπου επικρατούν ελάχιστες χρήσεις γης. Οι συγκεντρώσεις καλίου στα κεντρικά και ανάντη τμήματα κυμαίνονται από 2,1 έως 12,0 mg/l, ενώ στην εκβολή από 4 έως 14 mg/l. Οι χαμηλότερες συγκεντρώσεις ιόντων καλίου του Μεγάλου Ρέματος πλησιάζουν τις μέσες αντίστοιχες συγκεντρώσεις του Σπερχειού και του Νέστου (2,73 mg/l).

β) Ερασίνας: Οι συγκεντρώσεις καλίου κατά μήκος του Ερασίνου παρουσιάζουν αυξομειώσεις ανάλογα την εποχή. Τον Οκτώβριο του 2005 και τον Μάρτιο του 2007 οι τιμές παρουσιάζονται αυξημένες στην εκβολή λόγω εμπλουτισμού με θαλάσσιο σπρέι (Skoulikidis, 1993). Στις υπόλοιπες δειγματοληψίες, οι συγκεντρώσεις καλίου είναι παρεμφερείς κατά μήκος του ποταμού, παρουσιάζοντας ελάχιστη αύξηση στα ανάντη. Προφανώς η προσθήκη καλιούχων λιπασμάτων στους παρακείμενους αγρούς στα ανάντη σημεία Ερ.2 και Ερ.3 εμπλουτίζουν με ιόντα καλίου τα ποτάμια, που λόγω χαμηλής ροής του ποταμού (μικρότερη συγκριτικά με αυτήν του Μεγάλου Ρέματος) κατακρημνίζονται και μειώνονται προς την εκβολή.

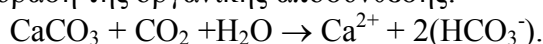
Οι συγκεντρώσεις κυμαίνονται στην εκβολή από 4 έως 12 mg/l, ενώ στα ανάντη σημεία από 2 έως 12 mg/l. Οι χαμηλότερες τιμές του Ερασίνου συμπίπτουν με τις μέσες συγκεντρώσεις καλίου του Σπερχειού και του Νέστου (2,73 mg/l), ενώ οι μέσες τιμές συγκεντρώσεων καλίου του Ερασίνου είναι παρεμφερείς με αυτές του Έβρου (6,25 mg/l).

- **Οξυανθρακικά  $HCO_3^-$**

Η προέλευση των οξυανθρακικών ιόντων στα ποτάμια προέρχονται από διάβρωση πετρωμάτων όπως ο ασβεστίτης σύμφωνα με την αντίδραση:



είτε απ' το ατμοσφαιρικό και το ελευθερούμενο στο έδαφος διοξείδιο του άνθρακα σύμφωνα με την αντίδραση της οργανικής αποσύνθεσης:



Επίσης, η ύπαρξη οξυανθρακικών ή όξινα διττανθρακικών αποτελούν δείκτη για την ύπαρξη οργανικών ουσιών στα νερά (Appello & Postma 1994, Καλλέργης 2000, Βουδούρης 2009).

α) Μεγάλο Ρέμα Ραφήνας: Κατά μήκος του Μεγάλου Ρέματος πριν την εκβολή παρατηρούνται παρεμφερείς τιμές οξυανθρακικών που αυξομειώνονται ανάλογα με τη ροή του ποταμού. Η χαμηλή ροή δείχνει να ευνοεί τις διαδικασίες ιζηματογένεσης, καθίζησης κι απορρόφησης από το πλαγκτόν των ανθρακικών αλάτων με συνέπεια τη μείωση των συγκεντρώσεών τους προς την εκβολή. Οι χαμηλότερες τιμές οξυανθρακικών ιόντων παρατηρούνται στον ποταμό Βαλανήρη (Ραφ.3) με μέσο όρο 212,9 mg/l και στην θέση Ραφ.5 (γέφυρα λεωφόρου Παλλήνης-Σπάτων), με μέσο όρο συγκεντρώσεων 278,2 mg/l. Οι υπόλοιπες θέσεις δειγματοληψίας παρουσιάζουν παρεμφερείς τιμές. Οι συγκεντρώσεις οξυανθρακικών ιόντων κυμαίνονται στην εκβολή από 341,6 mg/l (Οκτώβριος 2005) έως 469,7 mg/l (Νοέμβριος και Δεκέμβριος 2005), στη θέση Ραφ.2 από 341,6-481,9 mg/l, στη θέση Ραφ.3 από 231,8-292,8 mg/l, στη θέση Ραφ.4 από 366-420,9 mg/l και στη θέση Ραφ.5 από 152,5-359,9 mg/l.

Οι χαμηλότερες συγκεντρώσεις οξυανθρακικών ιόντων στον κλάδο Βαλανήρη είναι παρεμφερείς με τις μέσες συγκεντρώσεις του Γαλλικού (268 mg/l), Αλιάκμονα (226mg/l), Πηνειού (264 mg/l), Σπερχειού (273 mg/l) και Αγγίτη (277 mg/l), ενώ οι χαμηλότερες συγκεντρώσεις οξυανθρακικών ιόντων στον κλάδο Ραφ.5 είναι παρεμφερείς με αυτές του Έβρου (179 mg/l), Νέστου (137 mg/l) και Λούρου (175mg/l – Skoulikidis, 1997). Οι χαμηλές μέσες συγκεντρώσεις των μεγάλων ποταμών της Ελλάδας συγκριτικά με αυτές του Μεγάλου Ρέματος αποδίδονται σε αραίωση των αλάτων με μεγαλύτερο όγκο νερού.

β) Ερασίνο: Οι συγκεντρώσεις των οξυανθρακικών ιόντων στον ποταμό Ερασίνο παρατηρούνται αυξημένες συγκριτικά με αυτές του Μεγάλου Ρέματος. Ο μέσος όρος των συγκεντρώσεων στην εκβολή είναι 494,4 mg/l ενώ ο αντίστοιχος στο Μεγάλο Ρέμα είναι 408,1 mg/l. Αυτό οφείλεται στη διάλυση των ανθρακικών πετρωμάτων των υποστρωμάτων του Ερασίνου που εμπλουτίζουν τα ύδατα με οξυανθρακικά ιόντα. Γενικά, παρατηρείται ελαφρά αύξηση των τιμών προς την εκβολή με εξαίρεση τις δύο τελευταίες δειγματοληψίες (Οκτώβριος 2006 και Μάρτιος 2007) στις οποίες ο εμπλουτισμός με φρέσκο νερό από τα κατακρημνίσματα αραίωσε τις συγκεντρώσεις.

Οι τιμές κυμαίνονται από 402,6-555 mg/l στα ανάντη ενώ στην εκβολή από 408,7-561,2 mg/l. Οι συγκεντρώσεις οξυανθρακικών ιόντων στον Ερασίνο είναι πολύ υψηλότερες από τις μέσες συγκεντρώσεις οξυανθρακικών στους μεγαλύτερους ποταμούς της Ελλάδας (Skoulikidis, 1997). Αυτό αποδίδεται προφανώς στην παρουσία υψηλότερου οργανικού φορτίου που συμβάλλει στην διάλυση των ανθρακικών ορυκτών και ως εκ τούτου στην αύξηση της ανθρακικής σκληρότητας και της παρουσίας της ανθρακικής ρίζας. Γενικά η αύξηση αυτή παρατηρείται ιδιαίτερα κατά την ξηρή περίοδο, κατά την οποία παρατηρείται επίσης και αύξηση της θερμοκρασίας που συμβάλλει στην αύξηση του οργανικού υλικού.

#### • *Ιόντα χλωρίου Cl*

Το χλώριο μπορεί να προέρχεται στα επιφανειακά νερά είτε από διάβρωση εβαποριτικών πετρωμάτων, είτε από εμπλουτισμό με θαλάσσιο σπρέι, είτε με προσθήκη αποβλήτων κι αστικών λυμάτων (Skoulikidis, 1993).

α) Μεγάλο Ρέμα Ραφήνας: Κατά μήκος του Μεγάλου Ρέματος υπάρχει έντονη αυξητική τάση προς την εκβολή, κάτι που αποδίδεται στην προσθήκη ιόντων χλωρίου μέσω μεταφοράς θαλάσσιων σταγονιδίων από την θάλασσα προς την ενδοχώρα. Οι αυξημένες συγκεντρώσεις νατρίου και καλίου που παρατηρούνται στην εκβολή ενισχύουν αυτήν την θεωρία. Δεν αποκλείεται βιοτεχνίες, αγροικίες, μαντριά κλπ., να ρίπτουν ανεξέλεγκτα και παράνομα τα απόβλητα τους εντός των ρεμάτων της περιοχής. Επίσης η ύπαρξη σηπτικών βόθρων στις κατοικημένες περιοχές, όπως είναι



η Παλλήνη, το Πικέρι, τα Σπάτα και η Ραφήνα που δεν διαθέτουν μονάδα βιολογικής επεξεργασίας λυμάτων, συμβάλλει αθροιστικά στην αύξηση των ιόντων χλωρίου, μέσω διηθήσεων των υγρών αποβλήτων στα ρέματα της περιοχής. Οι συγκεντρώσεις χλωρίου στην εκβολή του Μεγάλου Ρέματος (Ραφ.1) κυμαίνονται από 219,9mg/l (Φεβρουάριος 2006) έως 354,6 mg/l (Οκτώβριος 2006) με μέσο όρο 285,3 mg/l. Οι κλάδοι Ραφ.2 και Ραφ.4 παρουσιάζουν ελαφρώς μικρότερες συγκεντρώσεις που κυμαίνονται μεταξύ 205,7- 241,1 mg/l και 191,5-212,8 mg/l αντίστοιχα. Στις θέσεις δειγματοληψίας Ραφ.3 (Βαλανήρης) και Ραφ.5 (στη λεωφόρο Σπάτων) παρουσιάζονται οι χαμηλότερες συγκεντρώσεις ιόντων χλωρίου. Η τροφοδοσία τους με φρέσκο νερό από τα πρανή της Πεντέλης και του Υμηττού αντίστοιχα οδηγεί σε χαμηλές συγκεντρώσεις χλωρίου συγκριτικά με αυτές των υπόλοιπων σημείων. Οι τιμές κυμαίνονται στον Βαλανήρη από 115,2-219,9 mg/l και στον Ραφ.5 από 145,4-177,3 mg/l. Οι υψηλές συγκεντρώσεις χλωρίου σε όλα τα σημεία του Μεγάλου Ρέματος είναι πολύ μεγαλύτερες από αυτές των μεγάλων ποταμών της Ελλάδας που κυμαίνονται από 6 έως 40 mg/l (Skoulikidis, 1997).

β) Ερασίνο: Τα ιόντα χλωρίου κατά μήκος του Ερασίνου παρουσιάζουν σημαντική αύξηση προς τα κατάντη (εκβολή). Οι αυξημένες συγκεντρώσεις χλωρίου στην εκβολή του Ερασίνου αποδίδονται κυρίως στον εμπλουτισμό με θαλάσσιο σπρέι (Skoulikidis, 1993). Οι συγκεντρώσεις χλωρίου στον κλάδο Ερ.3 είναι 234 mg/l, στον Ερ.2 κυμαίνονται από 241,1-312,1 mg/l και στην εκβολή από 269,5 (Μάρτιος 2007) έως 383 mg/l (Ιανουάριος 2006). Ο μέσος όρος των τιμών στην εκβολή είναι 343,2 mg/l, σημαντικά υψηλότερος του αντίστοιχου της εκβολής του Μεγάλου Ρέματος (285,3 mg/l). Αυτό ενισχύει την θεωρία διάλυσης περισσότερων εβαποριτικών πετρωμάτων κατά μήκος του Ερασίνου. Οι υψηλές συγκεντρώσεις χλωρίου στον Ερασίνο ξεπερνούν κατά πολύ τις αντίστοιχες μέσες συγκεντρώσεις των μεγάλων ποταμών της Ελλάδας (Skoulikidis, 1997).

Γενικά η παρουσία των υψηλών συγκεντρώσεων σε ιόντα χλωρίου, τόσο στον Ερασίνο όσο και στο Μεγάλο Ρέμα Ραφήνας, οφείλεται κυρίως στη διάλυση υπολειμματικών εβαποριτικών αλάτων που συνυπάρχουν προφανώς στα Νεογενή ιζήματα, στη γειτνίαση με την θάλασσα και στις εισροές χρησιμοποιημένων νερών από τις αστικές περιοχές.

- **Θεικά ιόντα  $SO_4^-$**

Τα θεικά ιόντα στα επιφανειακά νερά προέρχονται κυρίως από την διάλυση εβαποριτικών αλάτων και από έκπλυση θειούχων σκευασμάτων φυτοφαρμάκων και θεικών λιπασμάτων (Skoulikidis, 1993). Εισροή υδάτων από αστικά λύματα ή βιομηχανικά απόβλητα (σημειακές πηγές ρύπανσης) ενισχύουν τις συγκεντρώσεις θεικών ιόντων κι ευνοούν τη διαλυτότητά τους με την αύξηση της παροχής (Μπέλλος 1994).

α) Μεγάλο Ρέμα Ραφήνας: Στην εκβολή του Μεγάλου Ρέματος παρατηρούνται οι υψηλότερες συγκεντρώσεις θεικών ιόντων που αποδίδονται κυρίως στην θαλάσσια επίδραση και τις εισροές αστικών λυμάτων από τις κατοικημένες περιοχές. Οι τιμές στη θέση Ραφ.4 κυμαίνονται από 150,4 mg/l (Μάρτιος 2006) έως 248 mg/l (Μάιος 2006) με μέσο όρο 194,8 (Μάιος 2006). Στις υπόλοιπες θέσεις δειγματοληψίας οι συγκεντρώσεις των θεικών ιόντων κυμαίνονται από 70,7-240,3 mg/l (Ραφ.2:159,5-215,0 mg/l, Ραφ.3:77-226 mg/l Ραφ.4:151,9-240,3 mg/l και Ραφ.5:70,7-174,8 mg/l. Οι τιμές αποδίδονται στη διάλυση εβαποριτών (Stamatis et al., 2000) και σε έκπλυση από εφαρμογή θειούχων αγροχημικών (Skoulikidis, 1993) τα οποία εφαρμόζονται κατεξοχήν στις καλλιέργειες αμπέλου. Επίσης η παρουσία της οργανικής ύλης εντός των Νεογενών σχηματισμών συμβάλλει θετικά στον εμπλουτισμό των υπόγειων και

επιφανειακών νερών σε θειικά ιόντα. Ιδιαίτερα στην ευρύτερη περιοχή της Ραφήνας, όπου εντοπίζεται μεταλλοφορία λιγνίτη (Μαρίνος 1955), η παρουσία τους συνδέεται προφανώς άμεσα με τα γεωλογικά δεδομένα, πέραν των θαλάσσιων επιδράσεων. Οι συγκεντρώσεις θειικών ιόντων που παρατηρήθηκαν στο Μεγάλο Ρέμα ξεπερνούν κατά πολύ τις αντίστοιχες μέσες τιμές (11 έως 74 mg/l) των μεγαλύτερων ποταμών της Ελλάδας (Skoulikidis, 1997).

*β) Ερασίνο:* Τα θειικά ιόντα κατά μήκος του Ερασίνου παρουσιάζουν αύξηση προς την εκβολή, όπως και στην περίπτωση του Μεγάλου Ρέματος. Η παρουσία τους σχετίζεται με εισροές λυμάτων από τις πολυάριθμες αγροικίες της περιοχής, με την υπέρμετρη χρήση θειικών λιπασμάτων, θειούχων σκευασμάτων αγροχημικών στις έντονα καλλιεργούμενες εκτάσεις (κηπευτικά, άμπελος, φιστικιές, συκιές, ελιές κλπ.) και ιδιαίτερα με τις κτηνοτροφικές μονάδες που εντοπίζονται στην περιοχή. Η επικράτηση των καλλιεργειών αμπέλου που χρησιμοποιούν κατά κόρον θειούχα σκευάσματα ενισχύει αυτήν την θεωρία (Παναγόπουλος, 1993).

Η διάλυση των υπολειμματικών εβαποριτικών αλάτων συμβάλλει επίσης στην αύξηση των θειικών ιόντων. Οι συγκεντρώσεις κυμαίνονται στην εκβολή από 137,5 mg/l (Μάρτιος 2007) έως 266,0 mg/l (Μάιος 2006), με μέσο όρο 217,9 mg/l. Η τιμή αυτή είναι υψηλότερη της αντίστοιχης του Μεγάλου Ρέματος (194,8 mg/l) κάτι που αποδίδεται στην θαλάσσια επίδραση και σε άλλους ανθρωπογενείς παράγοντες. Στο σημείο Ερ.2 οι τιμές είναι χαμηλότερες και κυμαίνονται από 93-196,6 mg/l ενώ στο Ερ.3 παρατηρείται η χαμηλότερη τιμή των 84,3 mg/l (Πίνακας 8.14). Οι αυξημένες συγκεντρώσεις στην εκβολή συγκριτικά με τις ανάντη τιμές αποδίδονται κυρίως στην θαλάσσια επίδραση. Οι συγκεντρώσεις θειικών ιόντων στον Ερασίνο, όπως και στο Μεγάλο Ρέμα, ξεπερνούν κατά πολύ τις αντίστοιχες μέσες τιμές των μεγαλύτερων ποταμών της Ελλάδας που κυμαίνονται μεταξύ 11 και 74 mg/l (Skoulikidis 1997).

- **Νιτρικά ιόντα  $NO_3^-$**

Τα νιτρικά ιόντα προέρχονται στα ποτάμια από μη σημειακές πηγές ρύπανσης που προκύπτουν κυρίως από αγροτικές δραστηριότητες (προσθήκη λιπασμάτων και κοπριάς) και από σημειακές πηγές όπως απόβλητα ελαιοτριβείων, κτηνοτροφιών, σφαγείων, αστικά λύματα (Ahl and Oden 1971, Engwell 1971, Moustaka-Gouni and Nikolaidis 1994, Tryfon et al. 1996, Μπέλλος 2004).

*α) Μεγάλο Ρέμα Ραφήνας:* Οι τιμές νιτρικών ιόντων που παρουσιάζονται κατά μήκος του κύριου κλάδου του Μεγάλου Ρέματος κυμαίνονται μεταξύ 31,2 και 49,3 mg/l και εγγιζουν το όριο των 50 mg/l της οδηγίας της Ε.Ε. για τα πόσιμα νερά. Στις παρατηρούμενες σχετικά υψηλές συγκεντρώσεις νιτρικών ιόντων στα επιφανειακά νερά της περιοχής αντικατοπτρίζεται η ανεμπόδιση έκπλυση τους προς τους υδροφόρους ορίζοντες, καθότι στα υπόγεια νερά της περιοχής το 45% των δειγμάτων ξεπερνά αυτό το όριο.

Οι συγκεντρώσεις νιτρικών ιόντων του Μεγάλου Ρέματος παρουσιάζουν αυξητικές τάσεις από την περιοχή των εκβολών προς τα ανάντη σημεία της τροφοδοσίας του συστήματος. Αυτό αποδίδεται κυρίως σε μη σημειακές πηγές ρύπανσης (προσθήκη αζωτούχων λιπασμάτων και κοπριάς) στους παρακείμενους των ποταμών αγρούς. Τα σημεία με τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις είναι το Ραφ.2 με τιμές από 33-41,8 mg/l, το Ραφ.4 με τιμές από 33-49,3 mg/l και το Ραφ.5 με τιμές από 40,5-45,8 mg/l. Τα σημεία Ραφ.2 και Ραφ.4 βρίσκονται ανάμεσα σε έντονες γεωργικές δραστηριότητες, ενώ το Ραφ.5 κοντά σε ελαφρές βιομηχανίες, ελαιοτριβεία και λίγες αγροτικές εκτάσεις.

Η εκβολή του Μεγάλου Ρέματος παρουσιάζει συγκεντρώσεις νιτρικών ιόντων μεταξύ 31,2 mg/l (Ιανουάριος 2006) και 43,6 mg/l (Δεκέμβριος 2006). Ενδιαφέρον

παρουσιάζουν οι σημαντικά χαμηλές συγκεντρώσεις νιτρικών στον Βαλανήρη όπου η υψηλότερη συγκέντρωση ανέρχεται στα 15,8 mg/l και η χαμηλότερη τιμή στα 11,9 mg/l. Οι σημαντικά χαμηλότερες τιμές σ' αυτόν τον κλάδο αποδίδεται σε καλύτερης ποιότητας ύδατα που προέρχονται από τα πρανή της Πεντέλης όπου οι χρήσεις γης και οι οικοδομημένες περιοχές είναι περιορισμένες (Chatzinikolaou and Lazaridou, 2007).

Η χαμηλότερη συγκέντρωση νιτρικών ιόντων στο Μεγάλο Ρέμα (11,9 mg/l στο σημείο Ραφ.3) πλησιάζει την αντίστοιχη μέση τιμή του ποταμού Έβρου που ανέρχεται στα 10,93 mg/l (Skoulikidis 1997), που επηρεάζεται αρνητικά από τις παρακείμενες καλλιέργειες και φυσικά μεταφέρει σημαντικά μεγαλύτερους όγκους νερού. Οι τιμές στα υπόλοιπα μεγάλα ποτάμια της Ελλάδας κυμαίνονται από 2,64 mg/l (Αχελώος) έως 4,88 mg/l (Αξιός).

*β) Ερασίνας:* Τα νιτρικά ιόντα στον Ερασίνο παρουσιάζουν τιμές που επιβεβαιώνουν την αλόγιστη χρήση αζωτούχων λιπασμάτων και κοπριάς στους παρακείμενους αγρούς (Ahl and Oden 1971, Engwell 1971, Moustaka-Gouni and Nikolaidis 1994, Tryfon et al. 1996, Μπέλλος 2004). Επειδή ο Ερασίνο διασχίζει κυρίως αγροτικές εκτάσεις, οι μη σημειακές πηγές ρύπανσης που προκύπτουν απ' τις εντατικές γεωργικές δραστηριότητες είναι ο κύριος λόγος ρύπανσης των υδάτων σε νιτρικά ιόντα. Οι συγκεντρώσεις νιτρικών είναι όπως και στο Μεγάλο Ρέμα υψηλότερες κοντά στους αγρούς (μη σημειακές πηγές ρύπανσης) και χαμηλότερες προς τα κατάντη, προς την εκβολή του Ερασίνο, λόγω αφομοίωσης από το πλαγκτόν, καθίζησης και κατακρήμνισης (Skoulikidis 1993).

Οι συγκεντρώσεις κυμαίνονται στην εκβολή από 18,9 mg/l (Οκτώβριος 2005) έως 53,7 mg/l (Οκτώβριος 2006). Ο μέσος όρος (38,6 mg/l) είναι ελαφρώς μεγαλύτερος απ' τον αντίστοιχο του Μεγάλου Ρέματος (35,6 mg/l), προφανώς λόγω της μεγαλύτερης αγροτικής δραστηριότητας εκατέρωθεν του Ερασίνο. Οι συγκεντρώσεις στο σημείο Ερ.2 που βρίσκεται πλησίον καλλιεργητικών δραστηριοτήτων κυμαίνονται από 47,5 έως 71,7 mg/l. Τα νιτρικά ιόντα είναι η κυρίαρχη μορφή θρεπτικών αλάτων στον ποταμό Ερασίνο.

Οι συγκεντρώσεις νιτρικών ιόντων στον Ερασίνο υπερβαίνουν τις αντίστοιχες μέσες τιμές των μεγαλύτερων ποταμών της Ελλάδας (από 2,64 mg/l στον Αχελώο έως 10,93 mg/l στον Έβρο) ( Skoulikidis 1997), λόγω αραιώσης των νιτρικών ιόντων στα μεγάλα ποτάμια με μεγάλες ποσότητες νερού.

- **Διοξείδιο του πυριτίου SiO<sub>2</sub>**

Το διοξείδιο του πυριτίου βρίσκεται κυρίως στα όξινα εκρηξιγενή, γρανιτικά πετρώματα με περιεκτικότητα περίπου 64% και ακολουθούν τα βασικά ηφαιστειακά βασάλτικα πετρώματα με περιεκτικότητα διοξειδίου του πυριτίου (SiO<sub>2</sub>) 44% (Μαλεφάκης 1999). Απαντάται επίσης στους ψαμμίτες (359.000 mg/kg), στους αργίλους (260.000mg/kg), στα ανθρακικά πετρώματα (33.900 mg/kg) και στους εβαπορίτες (386 mg/kg) (Matthess 1973). Το SiO<sub>2</sub> είναι δυσδιάλυτο και βρίσκεται στα υπόγεια νερά σε χαμηλές συγκεντρώσεις που κυμαίνονται μεταξύ 15 και 25 mg/l.

*α) Μεγάλο Ρέμα Ραφήνας:* Τη μεγαλύτερη συγκέντρωση SiO<sub>2</sub> στον ποταμό Μεγάλο Ρέμα παρουσιάζει το σημείο Ραφ.4 στην περιοχή Φοίνικας με συγκεντρώσεις 23,4 mg/l τον Οκτώβριο 2005 και 19,3 mg/l τον πιο βροχερό μήνα Νοέμβριο 2005. Οι τιμές αποδίδονται στη διάλυση ψαμμιτών, αργίλων κι εβαποριτών των τεταρτογενών και νεογενών σχηματισμών.

Οι συγκεντρώσεις SiO<sub>2</sub> τον Οκτώβριο του 2005 στα υπόλοιπα σημεία δειγματοληψίας του Μεγάλου Ρέματος ήταν παρεμφερείς με τιμές 10,1 mg/l στο Ραφ.5, 20,8 mg/l στο Ραφ.2 και 20,3 mg/l στην εκβολή (Ραφ.1). Τον επόμενο πιο

βροχερό μήνα, Νοέμβριο 2005, οι τιμές που παρατηρήθηκαν μειώθηκαν σε 10,1 mg/l, 15,4 mg/l και 12,3 mg/l αντίστοιχα. Ο δευτερεύων κλάδος Βαλανήρης (Ραφ.3) παρουσιάζει τις πιο χαμηλές συγκεντρώσεις λόγω διαφορετικής γεωλογίας των υποστρωμάτων. Οι τιμές ανιχνεύθηκαν στα 16,8 mg/l τον Οκτώβριο και στα 9,1 mg/l τον Νοέμβριο του 2005 (σχήμα 8.126).

Η προέλευσή του SiO<sub>2</sub> στα επιφανειακά νερά κατά μήκος του Μεγάλου Ρέματος είναι γεωγενής. Οι συγκεντρώσεις του παρουσιάζουν εποχική διακύμανση, με τις υψηλότερες τιμές να εμφανίζονται κατά την ξηρή περίοδο ενώ κατά την υγρή περίοδο αυτές να μειώνονται αισθητά.

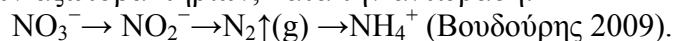
*β) Ερασίνο:* Οι συγκεντρώσεις του SiO<sub>2</sub> στον ποταμό Ερασίνο παρουσιάζονται λίγο υψηλότερες απ' αυτές του Μεγάλου Ρέματος. Τον Οκτώβριο του 2005 οι τιμές ήταν παρεμφερείς στα τρία σημεία του κλάδου, ήτοι 24,3 mg/l στην εκβολή (Ερ.1), 24,1 mg/l στο Ερ.2 και 24,6 mg/l στο Ερ.3. Τον επόμενο μήνα Νοέμβριο 2005, οι συγκεντρώσεις μειώθηκαν λόγω αραίωσης με το βρόχινο νερό με τιμές 20,2 mg/l στην εκβολή και 16,9 mg/l στα ανάντη σημεία. Η προέλευσή τους είναι γεωγενής κι αποδίδονται στη διάλυση ψαμμιτών, αργίλων κι εβαποριτών των τεταρτογενών και νεογενών σχηματισμών.

### 8.5.3.3 Δευτερεύουσες ενώσεις

- *Αμμωνιακά ιόντα NH<sub>4</sub><sup>+</sup>*

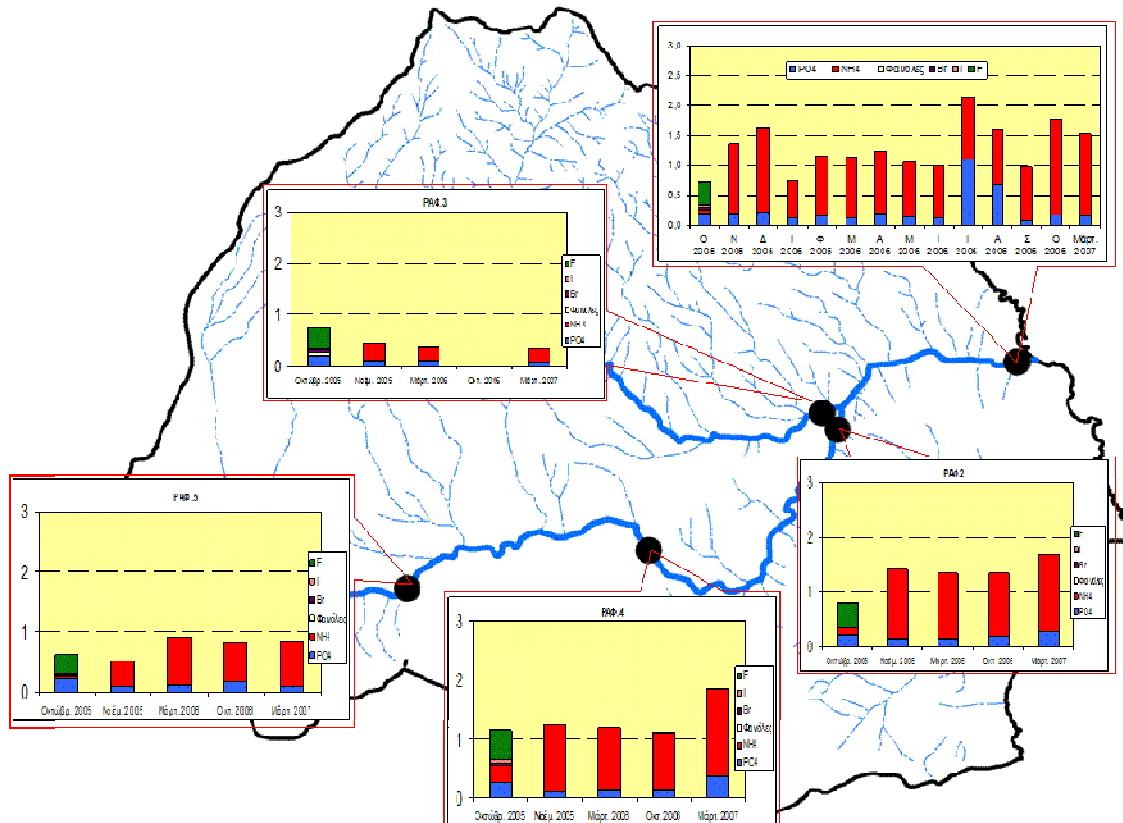
Τα αμμωνιακά ιόντα είναι μία απ' τις τέσσερις μορφές του διαλυμένου αζώτου στα υδάτινα περιβάλλοντα, μαζί με τα νιτρικά, τα νιτρώδη και τις απλές αζωτούχες οργανικές ενώσεις.

*α) Μεγάλο Ρέμα Ραφήνας:* Η κυρίαρχη μορφή του διαλυμένου αζώτου στο Μεγάλο Ρέμα είναι τα νιτρικά ιόντα τα οποία όπως προαναφέρθηκε εντοπίστηκαν σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις κοντά στις πηγές ρύπανσης. Τα αμμωνιακά ιόντα, αντίθετα με τα νιτρικά δείχνουν να συσσωρεύονται προς την εκβολή. Πιθανή εξήγηση είναι η μείωση των νιτρικών προς όφελος των αμμωνιακών λόγω αναγωγής με τη βοήθεια των αζωτοβακτηρίων, κατά την αντίδραση:

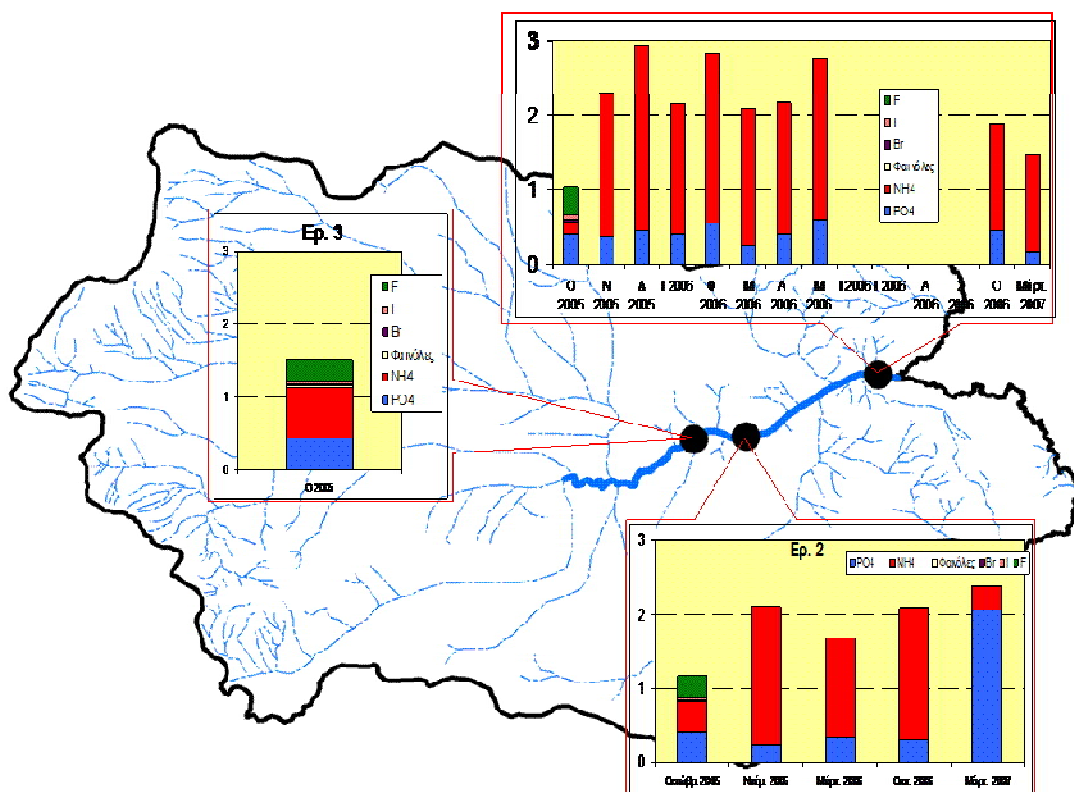


Επίσης η ρίψη αστικών λυμάτων στο τμήμα κοντά στις εκβολές μπορεί να δρα αθροιστικά στην αύξηση της συγκέντρωσης των αμμωνιακών ιόντων. Οι χαμηλότερες συγκεντρώσεις αμμωνιακών ιόντων, όπως και των νιτρικών, παρατηρήθηκαν στον παραπόταμο Βαλανήρη που προέρχεται από τα πρανή της Πεντέλης και θεωρείται σχεδόν ανεπηρέαστος από ανθρωπογενείς δράσεις. Οι συγκεντρώσεις αμμωνιακών ιόντων σ' αυτόν τον κλάδο (Ραφ.3) κυμαίνονται από 0,01-0,34 mg/l.

Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις παρατηρούνται στα σημεία Ραφ.4, Ραφ.2 και Ραφ.1. Το σημείο Ραφ.5 παρουσιάζει τις χαμηλότερες τιμές στον κύριο κλάδο του Μεγάλου Ρέματος με τιμές που κυμαίνονται από 0,05-0,80 mg/l. Προφανώς τα νιτρικά ιόντα που εντοπίστηκαν με υψηλές συγκεντρώσεις σε αυτό το σημείο μετατρέπονται σε αμμωνιακά προς τα κατάντη, με αποτέλεσμα να μην εντοπίζονται υψηλές συγκεντρώσεις αμμωνιακών στο σημείο αυτό (Ραφ.5). Τα κατάντη σημεία παρουσιάζουν συγκεντρώσεις αμμωνιακών που κυμαίνονται στο Ραφ.4 από 0,28-1,48 mg/l, στο Ραφ.2 από 0,13-1,39 mg/l και στην εκβολή από 0,1 mg/l (Οκτώβριος 2005) έως 1,6 mg/l (Οκτώβριος 2006), που είναι κι η υψηλότερη παρατηρηθείσα συγκέντρωση κατά μήκος του Μεγάλου Ρέματος. Οι συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων στα 5 σημεία του Μεγάλου Ρέματος αποτυπώνονται στο σχήμα 8.127.



Σχήμα 8.127: Συγκεντρώσεις ιχνοενώσεων (mg/l) στα επιφανειακά ύδατα του Μεγάλου Ρέματος



Σχήμα 8.128: Συγκεντρώσεις ιχνοενώσεων (mg/l) στα επιφανειακά ύδατα του Ερασίνου

*β) Ερασίνο:* Τα αμμωνιακά ιόντα στον Ερασίνο ποταμό παρουσιάζουν μείωση κατά μήκος προς την εκβολή. Οι συγκεντρώσεις στην εκβολή είναι σημαντικά υψηλότερες απ' τις αντίστοιχες του Μεγάλου Ρέματος με τιμές που κυμαίνονται από 0,142 mg/l (Οκτώβριος 2005) έως 2,464 mg/l (Δεκέμβριος 2005).

Η ύπαρξη υψηλών συγκεντρώσεων αμμωνιακών ιόντων οφείλεται αφενός μεν στη μετατροπή των νιτρικών σε αμμωνιακά λόγω αναγωγής με τη βοήθεια των αζωτοβακτηρίων (Βουδούρης 2009) και αφετέρου στην εισροή αποβλήτων από διάφορες ανθρωπογενείς δραστηριότητες.

Η επιτόπια παρατήρηση έδειξε έντονα χαρακτηριστικά της ρύπανσης του ρέματος, όπως φυσαλίδες στην επιφάνεια του νερού, χρωματισμό και δυσοσμία στο σημείο Ερ.3. Στο σχήμα 8.128 παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων στα 3 σημεία δειγματοληψίας του Ερασίνου.

### **Φωσφορικά ιόντα $PO_4^{3-}$**

Ο φώσφορος μαζί με το άζωτο είναι πρωταρχικής σημασίας για την ανάπτυξη των φυτών στο υπέργειο περιβάλλον και των φυκών στο υδάτινο περιβάλλον. Η προέλευση των φωσφορικών αλάτων εντοπίζεται στην εφαρμογή λιπασμάτων στις καλλιέργειες, στ' αστικά λύματα και τα βιομηχανικά απόβλητα (Ahl and Oden 1971, Engwell 1971, Moustaka-Gouni and Nikolaidis 1994, Tryfon et al. 1996).

Τα υδάτινα οικοσυστήματα απειλούνται απ' την έκπλυση αζώτου και φωσφόρου απ' τα εδάφη (Rawlins et al., 1998) που οδηγούν σε υπερτροφισμό των υδάτων (αύξηση φυτοπλαγκτού και φυκών με ταυτόχρονη υπερκατανάλωση οξυγόνου που οδηγεί σε δυσοσμία). Εκτιμάται ότι το 45% της προέλευσης των φωσφορικών ιόντων στα υδάτινα οικοσυστήματα είναι τα αστικά λύματα, το 45% οι γεωργικές δραστηριότητες και το 10% τα βιομηχανικά απόβλητα (Morse et al., 1993).

*α) Μεγάλο Ρέμα Ραφήνας:* Τα φωσφορικά ιόντα κατά μήκος του Μεγάλου Ρέματος αυξομειώνονται με τις χαμηλότερες τιμές να παρατηρούνται στον δευτερεύον κλάδο Βαλανήρη, Ραφ.3: 0,09-0,19 mg/l, που πηγάζει απ' τα πρανή της Πεντέλης, από περιοχές με ελάχιστες χρήσεις γης. Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις εντοπίζονται κοντά σε εντατικώς καλλιεργούμενα αγροτεμάχια και πόλεις στερούμενες αποχετευτικού δικτύου. Εντοπίζονται στα κεντρικά και ανάντη σημεία του κύριου κλάδου του Μεγάλου Ρέματος και αποδίδονται σε διάβρωση των εδαφών που έχουν δεχθεί εφαρμογή φωσφορικών λιπασμάτων (Ahl and Oden 1971, Engwell 1971, Moustaka-Gouni and Nikolaidis 1994, Tryfon et al. 1996) και σε εισροές αστικών λυμάτων από τις κατοικημένες περιοχές (Morse et al., 1993) και από περιοχές όπου δραστηριο-ποιούνται διάφορες βιοτεχνικές μονάδες. Οι τιμές κυμαίνονται στην εκβολή (Ραφ.1) από 0,07-1,09 mg/l, στο σημείο Ραφ.2 από 0,23-2,06 mg/l, στο σημείο Ραφ.4 από 0,11-0,37 mg/l και στο σημείο Ραφ.5 από 0,09-0,23 mg/l.

Οι τιμές είναι παρεμφερείς με τα μεγάλα ποτάμια της Ελλάδας, όπως είναι οι μέσες συγκεντρώσεις που εντοπίζονται στον Λούρο 0,06 mg/l, στον Γαλλικό 0,13 mg/l, στο Αρκουδόρεμα 0,14 mg/l, στον Αλιάκμονα 0,15 mg/l, στον Σπερχείο 0,20 mg/l, στον Αγγίτη 0,21 mg/l, στον Πηνεϊό 0,25 mg/l, στον Στρυμόνα 0,27 mg/l και στον Έβρο 1,23 mg/l (Skoulikidis 1997). Το γεγονός ότι οι συγκεντρώσεις φωσφορικών ιόντων στο μικρής παροχής και περιορισμένης έκτασης της λεκάνης απορροής Μεγάλο Ρέμα είναι παρεμφερείς με συγκεντρώσεις σε ποτάμια πολύ μεγαλύτερης ροής και λεκάνης απορροής, δείχνει τις έντονες πιέσεις που υφίσταται από ανθρωπογενείς παράγοντες.

*β) Ερασίνο:* Τα φωσφορικά ιόντα παρατηρούνται πολύ πιο αυξημένα κατά μήκος του Ερασίνου συγκριτικά με το Μεγάλο Ρέμα. Κύρια αιτία είναι οι εντατικές

γεωργικές δραστηριότητες εκατέρωθεν του κλάδου (Ahl and Oden 1971, Engwell 1971, Moustaka-Gouni and Nikolaidis 1994, Tryfon et al. 1996). Οι συγκεντρώσεις φωσφορικών ιόντων κατά μήκος του Ερασίνου παρουσιάζουν αυξομειώσεις στις διάφορες δειγματοληψίες. Αυτό αποδίδεται στο χρόνο και στην ποσότητα εφαρμογής των φωσφορικών λιπασμάτων στις καλλιέργειες.

Οι συγκεντρώσεις φωσφορικών ιόντων κυμαίνονται στην εκβολή από 0,18 mg/l (Μάρτιος 2007) έως 0,61 mg/l (Μάιος 2006) με μέσο όρο 0,41 mg/l. Στα ανάντη σημεία οι συγκεντρώσεις κυμαίνονται από 0,2 mg/l έως 2,1 mg/l. Η συγκέντρωση των 2,1 mg/l εντοπίζεται στο κεντρικό τμήμα του ρέματος (σημείο δειγματοληψίας Ερ2). Το τμήμα αυτό έχει δεχθεί το φορτίο που προέρχεται από τις στραγγίσεις των έντονα καλλιεργούμενων εκτάσεων, καθώς επίσης τα απόβλητα των ποιμνιοστασιών της περιοχής. Οι μέσες συγκεντρώσεις φωσφορικών ιόντων του Ερασίνου είναι παρεμφερείς με τις αντίστοιχες μέσες τιμές των μεγάλων ποταμών της Ελλάδας (Skoulikidis, 1997), ωστόσο η υψηλή τιμή των 2,1 mg/l δεν παρατηρήθηκε σε κανένα ποτάμι υψηλής παροχής. Αυτό δείχνει τη μεγάλη υποβάθμιση που υπόκειται ο χαμηλής ροής Ερασίνας.

- **Βρώμιο Br<sup>-</sup>**

Το Br χαρακτηρίζεται από χαμηλές συγκεντρώσεις στα διάφορα πετρώματα. Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις απαντώνται στους εβαπορίτες 33mg/kg (Matthess 1973). Το βρώμιο δε βρίσκεται ελεύθερο στη φύση. Βρίσκεται με τη μορφή αλάτων, κυρίως του Na<sup>+</sup>, του K<sup>+</sup> και του Mg<sup>2+</sup>. Τα άλατα αυτά συνοδεύουν τα αντίστοιχα χλωριούχα, αλλά σε μικρότερη αναλογία από εκείνα. Έτσι στο θαλάσσιο νερό η παρουσία των βρωμιούχων αλάτων είναι χαρακτηριστική. Η συγκέντρωση Br<sup>-</sup> στο θαλασσινό νερό ανέρχεται στα 65 mg/l. Η συγκέντρωση βρωμίου στους λιγνίτες είναι χαρακτηριστική. Η περιεκτικότητα της τέφρας του λιγνίτη της Δράμας κυμαίνεται μεταξύ 10 και 62ppm (Filippidis et al., 1996). Η εφαρμογή αγροχημικών στις καλλιέργειες μπορεί να εμπλουτίσουν τα επιφανειακά νερά με τα βρωμιούχα ιόντα μέσω έπλυσης ή εξάτμισης (Kabata-Pendias and Pendias, 1992).

*α) Μεγάλο Ρέμα Ραφήνας:* Τα ιόντα βρωμίου ανιχνεύθηκαν σε ελάχιστες συγκεντρώσεις κατά μήκος του Μεγάλου Ρέματος. Η μέγιστη συγκέντρωση (0,04 mg/l) παρατηρήθηκε στη θέση δειγματοληψίας Ραφ.2, περιοχής Φοίνικα, όπου διαρρέει ανάμεσα σε αγροτικές εκτάσεις. Η εκβολή του Μεγάλου Ρέματος παρουσιάζει συγκέντρωση ιόντων βρωμίου Ραφ.1: 0,03 mg/l. Στις υπόλοιπες θέσεις δειγματοληψίας προσδιορίζονται ακόμη χαμηλότερες τιμές (0,01 mg/l στα σημεία Ραφ.2 και Ραφ.5 και 0,02 mg/l στο Ραφ.3). Οι τιμές αποδίδονται κυρίως στη διάλυση βρωμιούχων ορυκτών που συνυπάρχουν εντός των υπολειμματικών εβαποριτικών αλάτων στους Νεογενείς σχηματισμούς και της οργανικής ύλης εντός των Νεογενών σχηματισμών.

*β) Ερασίνας:* Κατά μήκος του Ερασίνου παρουσιάζονται ελαφρώς υψηλότερες συγκεντρώσεις βρωμίου απ' αυτές του Μεγάλου Ρέματος. Στην εκβολή του Ερασίνου η συγκέντρωση ιόντων βρωμίου ανέρχεται σε 0,04 mg/l, ενώ στο σημείο Ερ.2: 0,02 mg/l και στο σημείο Ερ.3: 0,05 mg/l. Η προέλευσή τους είναι κυρίως γεωγενής.

- **Ιώδιο I**

Το ιώδιο είναι ένα αμέταλλο στοιχείο που ανήκει στην κατηγορία των αλογόνων μαζί με τα πλέον γνωστά στοιχεία χλώριο (Cl<sup>-</sup>), βρώμιο (Br<sup>-</sup>) και φθόριο (F<sup>-</sup>). Η μέγιστη τιμή συγκεντρώσεων ιωδίου στα πετρώματα εμφανίζεται στους πλούσιους σε οργανική ουσία σχιστόλιθους ενώ στο θαλασσινό νερό η συγκέντρωση του ιωδίου



ανέρχεται στα 0,064 mg/kg (Matthess, 1973). Στα κοιτάσματα λιγνίτη της Ραφήνας εντοπίστηκε το αλογόνο αυτό (Μαρίνος, 1955).

α) Μεγάλο Ρέμα Ραφήνας: Τα ιόντα ιωδίου κατά μήκος του Μεγάλου Ρέματος παρουσιάζουν συγκεντρώσεις ανάλογες με αυτές του βρωμίου κι εντοπίζονται κυρίως σε περιοχές εντατικής καλλιέργειας (Kabata-Pendias and Pendias, 1992). Όπως και στην περίπτωση του βρωμίου, η υψηλότερη συγκέντρωση ιωδίου παρατηρήθηκε στην θέση Ραφ.4: 0,08 mg/l στην περιοχή Φοίνικα κι ακολουθεί η συγκέντρωση της εκβολής (Ραφ.1: 0,05mg/l).. Η αυξημένη συγκέντρωση ιωδίου στον συγκριτικά με τις τιμές των γειτονικών θέσεων δειγματοληψίας, Βαλανήρη Ραφ.3: 0,04 mg/l, αποδίδεται ενδεχόμενα στο γειτονικό εν λειτουργία εργοστάσιο παραγωγής τσιμέντου ([www.epa.gov](http://www.epa.gov)). Οι υπόλοιποι κλάδοι παρουσιάζουν ελάχιστες συγκεντρώσεις ιωδίου (0,02 mg/l στο Ραφ.5 και 0,01 mg/l στο Ραφ.2).

β) Ερασίνο: Οι συγκεντρώσεις ιόντων ιωδίου στον ποταμό Ερασίνο παρουσιάζουν ομοιότητες με τις αντίστοιχες συγκεντρώσεις βρωμίου. Οι τιμές βρέθηκαν τον Οκτώβριο του 2005 στην εκβολή 0,06 mg/l, στο σημείο Ερ.2 0,03 mg/l και στο Ερ.3 0,07 mg/l. Επειδή ο ποταμός διαρρέει αγροτικές εκτάσεις εντατικής καλλιέργειας οι συγκεντρώσεις ιωδίου αποδίδονται σε εφαρμογή αγροχημικών (Kabata-Pendias and Pendias, 1992).

#### • **Φθόριο $F_2^-$**

Το φθόριο παρατηρείται στα φυσικά επιφανειακά νερά με συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από 0,01 έως 0,3mg/l ενώ στο θαλασινό νερό με συγκεντρώσεις από 1,2 έως 1,5mg/l. Υψηλές συγκεντρώσεις παρατηρούνται σε περιοχές όπου προκύπτουν απ' την αποσάθρωση πετρωμάτων πλουσίων σε φθόριο, που είθισται να εμφανίζονται σε περιοχές με ηφαιστειακή ή γεωθερμική δραστηριότητα με τιμές μεταξύ 25 και 50mg/l ([www.greenfacts.org](http://www.greenfacts.org)).

Πέρα από την αποσάθρωση των πετρωμάτων, την ατμοσφαιρική απόθεση από την έκλυση ηφαιστειακών αερίων και την εξάτμιση θαλασσινού νερού, το φθόριο μπορεί να εισέλθει στο περιβάλλον από ανθρωπογενείς δραστηριότητες όπως οι χαλυβουργίες, η παραγωγή φωσφορικών λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων, η παραγωγή υάλου, τσιμέντου, τούβλων κλπ. Η μεταφορά και μετατροπή των ιόντων φθορίου στα νερά επηρεάζονται απ' το pH και τη σκληρότητα.

Το φθόριο περιέχεται στο λιγνίτη, η καύση του οποίου οδηγεί σε ελευθέρωση υδροφθορίου (HF) που είναι ιδιαίτερα υδατοδιαλυτό. Ο λιγνίτης έχει την τάση να δεσμεύει τα ιόντα φθορίου γι αυτό και χρησιμοποιείται στην απομάκρυνση αυτού, σε νερά στα οποία παρατηρείται με υψηλές συγκεντρώσεις (Pekar, 2009).

α) Μεγάλο Ρέμα Ραφήνας: Οι συγκεντρώσεις ιόντων φθορίου στις θέσεις δειγματοληψίας του Μεγάλου Ρέματος παρουσιάζουν τιμές που κυμαίνονται από 0,32 έως 0,48 mg/l. Η υψηλότερη συγκέντρωση εμφανίζεται στη θέση Ραφ.4: 0,48 mg/l, της περιοχής Φοίνικα, όπου παρουσιάζονται επίσης οι υψηλότερες συγκεντρώσεις σε βρώμιο και ιώδιο. Η παρουσία των αλογόνων αυτών στοιχείων στην εν λόγω περιοχή συνδυάζεται με την λειτουργία μονάδος κεραμοποιίας όπου χρησιμοποιείται σημαντική ποσότητα λιγνίτη στην παρασκευή των προϊόντων. Ως γνωστό τα στοιχεία αυτά είναι βióφυλλα, συνυπάρχουν στους λιγνίτες και κατά την καύση τους ελευθερώνονται στο περιβάλλον ([www.epa.gov](http://www.epa.gov)). Επίσης η γειτνίαση της περιοχής με τη θάλασσα μπορεί να συμβάλλει στην παρουσία των στοιχείων αυτών τόσο στα εδάφη όσο και στα επιφανειακά νερά ([www.greenfacts.org](http://www.greenfacts.org)). Η συγκέντρωση του φθορίου στις υπόλοιπες κατάντη θέσεις δειγματοληψίας έχει ως ακολούθως: Ραφ.2:

0,45 mg/l, Ραφ.3: 0,39 mg/l και της εκβολής Ραφ.1: 0,38 mg/l. Η χαμηλότερη τιμή εντοπίζεται στην ανάντη περιοχή του Μεγάλου Ρέματος Ραφ.5: 0,32 mg/l.

*β) Ερασίνος:* Οι συγκεντρώσεις ιόντων φθορίου κατά μήκος του Ερασίνου παρουσιάζουν αύξηση προς την εκβολή κι αποδίδονται σε εφαρμογή λιπασμάτων στους αγρούς. Οι συγκεντρώσεις που ανιχνεύθηκαν τον Οκτώβριο του 2005 ήταν Ερ.1: 0,37 mg/l στην εκβολή, στο σημείο Ερ.2: 0,30 mg/l και στο σημείο Ερ.3: 0,28 mg/l. Οι τιμές δεν ξεπερνούν το όριο του 1,0 mg/l που θεωρείται αβλαβές για την ανθρώπινη υγεία.

- **Κυανίδια CN**

Τα κυανίδια μπορεί να βρεθούν σε ποικίλες οργανικές κι ανόργανες ενώσεις. Τα κυανίδια σε κάποιες μορφές είναι πολύ ισχυρά τοξικά. Η συνηθέστερη μορφή του είναι το υδροκυάνιο (HCN), ένα χρωματισμένο αέριο με άσχημη οσμή. Άλλες σύνηθες μορφές τους είναι το NaCN και το KCN (ATSDR, 1997). Τα κυανίδια παράγονται από συγκεκριμένα βακτήρια, μύκητες και άλγη και μπορεί να βρίσκονται σε κάποια τρόφιμα όπως τα φασόλια «γίγαντες» και τα αμύδαλα. Μπορούν να βρεθούν στα επιφανειακά νερά λόγω εμπλουτισμού με απόβλητα μεταλλουργιών, βιομηχανιών σιδήρου και ατσαλιού και από εφαρμογές αγροχημικών (ATSDR, 1997). Τα περισσότερα κυανίδια εντός των επιφανειακών υδάτων σχηματίζουν το HCN κι εξατμίζονται, γι αυτό και δεν εντοπίζονται σε σημαντικές ποσότητες στα πόσιμα νερά.

Κατανάλωση συγκεντρώσεων κυανιδίων μεγαλύτερης των 0,2 mg/l μπορεί να προκαλέσει τρέμουλο, ταχεία αναπνοή και γενικότερα νευρολογικές διαταραχές. Χρόνια έκθεση σε υψηλά επίπεδα μπορεί να προκαλέσει απώλεια βάρους, διαταραχές του θυρεοειδή, νευρολογικές διαταραχές και θάνατο. Η έκθεση στο δέρμα μπορεί να προκαλέσει ερεθισμούς και έλκη (USBR, 2011).

*α) Μεγάλο Ρέμα Ραφήνας:* Κατά μήκος του Μεγάλου Ρέματος ανιχνεύθηκαν απειροελάχιστες ποσότητες κυανιδίων που δεν ξεπερνούν τα 0,01 mg/l λόγω της ιδιότητας αυτών να ενώνονται με τα ιόντα υδρογόνου προς HCN και να εξατμίζονται. Οι συγκεντρώσεις στα διάφορα σημεία είναι 0,006 mg/l στα Ραφ.4 και Ραφ.5, 0,01 mg/l στο Ραφ.3, 0,008 mg/l στο Ραφ.2 και 0,007 mg/l στην εκβολή (Ραφ.1). Οι ποσότητες αυτές αποδίδονται κυρίως σε εφαρμογή αγροχημικών στους αγρούς απ' τους οποίους διαρρέει ο ποταμός (ATSDR, 1997).

*β) Ερασίνος:* Οι συγκεντρώσεις κυανιδίων στον Ερασίνο είναι ελαφρώς υψηλότερες από τις αντίστοιχες του Μεγάλου Ρέματος, προφανώς λόγω της εντατικότερης εφαρμογής αγροχημικών (ATSDR, 1997). Οι τιμές δεν ξεπερνούν το όριο των 0,2 mg/l. Κατά μήκος του Ερασίνου παρουσιάζουν αυξομειώσεις με τη μέγιστη τιμή (0,021 mg/l) να εμφανίζεται στην εκβολή. Στα σημεία δειγματοληψίας του Ερασίνου Ερ.2 και Ερ.2, η συγκέντρωση σε κυανίδια ανέρχεται σε 0,015 mg/l και στο σημείο Ερ.3: 0,018 mg/l.

- **Υδραζίνες**

Οι υδραζίνες περιλαμβάνουν 3 ενώσεις: την υδραζίνη, την 1-1-διμεθυλουδραζίνη και τη 1,2- διμεθυλουδραζίνη. Οι ενώσεις αυτές έχουν ίδια χημική δομή και αντίδραση, παρεμφερείς χρήσεις και παρεμφερείς επιπτώσεις στην υγεία. Οι υδραζίνες παράγονται από χημικές ενώσεις όπως η αμμωνία, η διμεθυλαμίνη. Πολύ μικρό ποσοστό λαμβάνει χώρα φυσικά σε κάποια φυτά.

Στην καθαρή τους μορφή είναι άχρωμα υγρά, με παρεμφερή οσμή της αμμωνίας που μπορούν εύκολα να εξατμιστούν. Είναι πολύ δραστικές κι εύφλεκτες ενώσεις. Χρησιμοποιούνται σαν καύσιμο για τους πυραύλους και τα διαστημόπλοια καθώς και

για παραγωγή φαρμάκων και προϊόντων καπνού. Οι υδραζίνες μπορούν να ελευθερωθούν στο υδάτινο περιβάλλον από απόβλητα φαρμακοβιομηχανιών, από εκπλύσεις χωματερών κι εφαρμογή αγροχημικών (Jimoh et al., 2003). Συνήθως εξατμίζονται ή διασπώνται από μικροοργανισμούς σε λιγότερο τοξικές ενώσεις.

α) Μεγάλο Ρέμα Ραφήνας: Κατά μήκος του Μεγάλου Ρέματος ανιχνεύθηκαν απειροελάχιστες συγκεντρώσεις υδραζινών που αποδίδονται στην εύκολη πτητικότητα αυτών. Οι τιμές κυμαίνονται από 0,0 (σημείο εκβολής – Ραφ.1) έως 0,0166 mg/l (σημείο Ραφ.3). Τα υπόλοιπα σημεία δειγματοληψίας του Μεγάλου Ρέματος παρουσιάζουν τις ακόλουθες συγκεντρώσεις: Ραφ.2: 0,0042 mg/l, Ραφ.4: 0,0133 mg/l και Ραφ.5: 0,0039 mg/l.

β) Ερασίνο: Κατά μήκος του Ερασίνο ανιχνεύθηκαν, όπως και στην περίπτωση του Μεγάλου Ρέματος απειροελάχιστες συγκεντρώσεις υδραζινών που αποδίδονται στην εύκολη πτητικότητα αυτών. Η χαμηλότερη συγκέντρωση (0,0051 mg/l) εντοπίζεται, όπως και στο Μεγάλο Ρέμα στην εκβολή (Ερ.1) και η υψηλότερη στο ανάντη σημείο Ερ.3 (0,0125 mg/l). Στο ενδιάμεσο σημείο Ερ.2 οι συγκεντρώσεις υδραζινών βρέθηκαν στα 0,0107 mg/l. Προφανώς οι υψηλότερες συγκεντρώσεις στα ανάντη σημεία αποδίδονται σε μη σημειακές πηγές ρύπανσης όπως η εφαρμογή αγροχημικών (Jimoh et al., 2003).

#### • **Φαινολικές ενώσεις**

Οι φαινόλες στην καθαρή τους μορφή είναι ένα άχρωμο ή άσπρο στερεό, συνήθως όμως απαντάται ως υγρό με ισχυρή οσμή. Είναι ένα χημικό που φτιάχνεται από τον άνθρωπο, ωστόσο βρίσκεται στην φύση σε απόβλητα κτηνοτροφιών, ελαιοτριβείων και οργανικά υλικά. Χρησιμοποιείται κυρίως σε εργοστάσια φαρμακευτικών προϊόντων και πλαστικών. Οι φαινόλες που εκλύονται στο περιβάλλον συνήθως βρίσκονται στα νερά παρά στα εδάφη και συχνότερα σε επιφανειακά και υπόγεια ύδατα κοντά σε αγροτικές εκτάσεις και χωματερές.

Το όριο για τα πόσιμα νερά είναι η συγκέντρωση των 0,3 mg/l (WHO, 1994). Η κατανάλωση προκαλεί θρομβώσεις. Θεωρείται ιδιαίτερα τοξικό σε υψηλές συγκεντρώσεις και μπορεί να προκαλέσει προσβολή των πνευμόνων και απώλεια βάρους.

α) Μεγάλο Ρέμα Ραφήνας: Οι φαινολικές ουσίες ανιχνεύθηκαν σε ιχνοποσότητες στα επιφανειακά νερά της περιοχής έρευνας. Κατά μήκος του Μεγάλου Ρέματος οι συγκεντρώσεις φαινολών τον Οκτώβριο 2005 ήταν σχεδόν μηδενικές. Τον επόμενο μήνα (Νοέμβριο 2005) οι τιμές αυξήθηκαν ελάχιστα πιθανόν λόγω έναρξης λειτουργίας των ελαιοτριβείων. Την επόμενη χρονιά εντοπίστηκαν ιχνοποσότητες που δεν ξεπέρασαν τα 0,028 mg/l.

β) Ερασίνο: Οι φαινολικές ουσίες ανιχνεύθηκαν στον Ερασίνο σε ιχνοποσότητες όπως και στο Μεγάλο Ρέμα με συγκεντρώσεις που κυμαίνονται από 0-0,005 mg/l τον Οκτώβριο 2005, από 0,002-0,004 mg/l τον Νοέμβριο 2005 κι από 0,012-0,027 mg/l τον Οκτώβριο του 2006.

Η παρουσία τους, έστω και στη σημαντικά χαμηλή συγκέντρωση, τόσο στο Μεγάλο Ρέμα Ραφήνας όσο και στον Ερασίνο, αποδίδεται κυρίως στη ελεύθερη ρίψη υγρών αποβλήτων που προέρχονται από τα οινοποιεία και τα ελαιοτριβεία που λειτουργούν στην περιοχή.

#### 8.5.4 Μεταφορά ετήσιου ρυπαντικού φορτίου

Από την αντιστοίχιση των μηνιαίων συγκεντρώσεων των στοιχείων με την παροχή και την άθροιση των μηνιαίων τιμών, υπολογίστηκαν τα συνολικά ρυπαντικά φορτία μεταφοράς των δυο ρεμάτων που διαρρέουν την περιοχή έρευνας, του Μεγάλου Ρέματος και του Ερασίνου, οι οποίοι εκβάλλουν στον κόλπο της Ραφήνας και της Βραυρώνας αντίστοιχα.

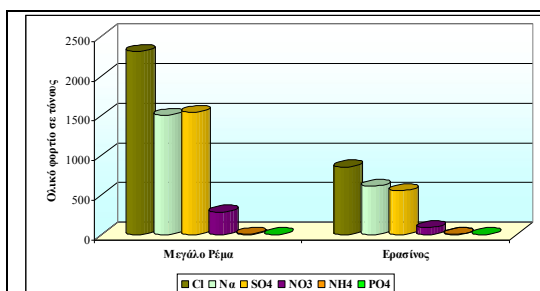
Σκοπός της ενέργειας αυτής είναι να εκτιμηθεί ο συνολικός όγκος των διαφόρων ρυπογόνων ουσιών που μεταφέρονται σε ετήσια βάση και αποτίθενται στους προαναφερόμενους κόλπους, όπου και εντοπίζονται τα αντίστοιχα περιβαλλοντικά προβλήματα, κυρίως αυτό του ευτροφισμού.

Σε έρευνα που πραγματοποιήθηκε στον κόλπο της Βραυρώνας (Stamatis et al. 2000) διαπιστώνεται ότι οι συγκεντρώσεις των θρεπτικών στοιχείων ( $\text{NO}_3^-$ : 41,0-46,5 mg/l,  $\text{NO}_2^-$ : 0,07-1,0 mg/l,  $\text{NH}_4^+$ : 0,8-13,9 mg/l,  $\text{PO}_4^{3-}$ : 1,1-2,5 mg/l) στο παράκτιο εξωτερικό τμήμα του κόλπου της Βραυρώνας ευρίσκονται σε υψηλά επίπεδα, ενώ μειώνονται αισθητά προς το εσωτερικό τμήμα. Το γεγονός αυτό αποτελεί ένδειξη ανθρωπογενών πιέσεων που ασκείται στο θαλάσσιο περιβάλλον και το οποίο αντικατοπτρίζεται στην έντονη υδροχαρή βλάστηση που εμφανίζεται στον κόλπο. Παρόμοιες καταστάσεις επικρατούν και στον κόλπο της Ραφήνας όπου είναι οι εκβολές του Μεγάλου Ρέματος. Η ευτροφική κατάσταση που επικρατεί και στους δυο κόλπους είναι ορατή σε μεγάλη έκταση.

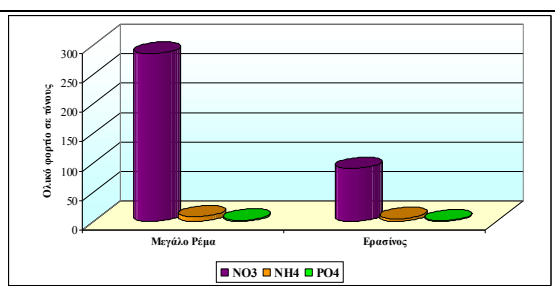
*α) Μεγάλο Ρέμα Ραφήνας:* Διαπιστώνεται ότι μέσα από το Μεγάλο Ρέμα μετακινούνται ετησίως σημαντικά φορτία θρεπτικών στοιχείων  $\text{NO}_3^-$ : 284,6 τόνοι,  $\text{NH}_4^+$ : 7,91 τόνοι και  $\text{PO}_4^{3-}$ : 1,7 τόνοι (Πίνακας 8.20 και Σχήμα 8.129), τα οποία συμβάλλουν στην εμφάνιση ευτροφικών καταστάσεων του κόλπου της Ραφήνας.

Πέραν των θρεπτικών στοιχείων, το υδρολογικό έτος 2005-2006 διακινήθηκαν συνολικά μέσα στο Μεγάλο Ρέμα 2.305,4 τόνοι χλωριόντων, 1.539 τόνοι θεικών, 1.503 τόνοι ιόντων νατρίου, 65,7 τόνοι ιόντων καλίου (πίνακας 8.20). Στο σχήμα 8.129 παρουσιάζεται γραφικά η συμμετοχή των κυριότερων στοιχείων στο ετήσιο μεταφερόμενο φορτίο μέσα από τους εν λόγω ποταμούς στους κόλπους Ραφήνας και Βραυρώνας.

*β) Ερασίνο:* Διαπιστώνεται ότι μέσα από τον Ερασίνο μετακινούνται ετησίως σημαντικά φορτία θρεπτικών στοιχείων  $\text{NO}_3^-$ : 89,4 τόνοι,  $\text{NH}_4^+$ : 4,54 τόνοι και  $\text{PO}_4^{3-}$ : 1 τόνος (πίνακας 8.21 και Σχήμα 8.130), τα οποία συμβάλλουν στην εμφάνιση ευτροφικών καταστάσεων του κόλπου της Βραυρώνας.



**Σχήμα 8.129:** Γραφική απεικόνιση του μεταφερόμενου ρυπαντικού φορτίου ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$  και  $\text{PO}_4^{3-}$ ) μέσα από το Μεγάλο Ρέμα και τον Ερασίνο.



**Σχήμα 8.130:** Γραφική απεικόνιση του ετήσιου ρυπαντικού φορτίου που μεταφέρεται μέσα από το Μεγάλο Ρέμα και τον Ερασίνο δημιουργώντας ευτροφικές καταστάσεις στους κόλπους Ραφήνας και Βραυρώνας αντίστοιχα.

**Πίνακας 8.20:** Μεταφορά ετήσιου ρυπαντικού φορτίου του Μεγάλου Ρέματος σε τόνους

	Cl	PO <sub>4</sub>	SO <sub>4</sub>	Na	K	NO <sub>3</sub>	NH <sub>4</sub>
<b>O</b>	105,67	0,069	71,77	62,50	4,36	13,43	0,028
<b>N</b>	768,00	0,428	458,60	405,64	31,55	75,36	2,616
<b>Δ</b>	10,62	0,009	8,53	9,83	0,36	1,95	0,063
<b>I</b>	36,22	0,013	17,72	30,86	0,80	3,32	0,064
<b>Φ</b>	199,06	0,119	140,06	173,34	5,72	29,50	0,823
<b>M</b>	288,07	0,151	193,94	219,21	10,32	43,69	1,314
<b>A</b>	181,94	0,141	141,54	158,59	2,96	25,11	0,784
<b>M</b>	87,84	0,043	81,90	57,46	1,39	12,42	0,302
<b>I</b>	330,59	0,123	227,69	172,66	4,46	45,58	0,991
<b>I</b>	111,13	0,389	81,29	76,56	1,42	14,73	0,377
<b>A</b>	99,93	0,194	59,87	73,33	1,15	9,49	0,267
<b>Σ</b>	86,34	0,022	55,93	63,14	1,23	10,03	0,278
<b>ΣΥΝΟΛΟ ΤΟΝΟΙ</b>	<b>2.305,4</b>	<b>1,7</b>	<b>1.538,8</b>	<b>1.503,1</b>	<b>65,72</b>	<b>284,6</b>	<b>7,91</b>

Πέραν των θρεπτικών στοιχείων, το υδρολογικό έτος 2005-2006 διακινήθηκαν συνολικά μέσα στον Ερασίνο 854,3 τόνοι χλωριόντων, 552,6 τόνοι θεικών, 609,9 τόνοι ιόντων νατρίου και 23,62 τόνοι ιόντων καλίου (πίνακας 8.21). Η προέλευση των εν λόγω στοιχείων είναι κατά ένα ποσοστό γεωγενούς προέλευσης και κατά ένα ποσοστό είναι προϊόντα ανθρώπινων δραστηριοτήτων. Ενώ οι συγκεντρώσεις των περισσότερων στοιχείων στην εκβολή του Ερασίνου ήταν σημαντικά υψηλότερες από τις αντίστοιχες στην εκβολή του Μεγάλου Ρέματος, οι συνολικοί τόνοι μεταφοράς θρεπτικών αλάτων και κύριων στοιχείων είναι πολύ χαμηλότεροι στον Ερασίνο λόγω μηδενικής ροής τους θερινούς μήνες.

**Πίνακας 8.21:** Μεταφορά ετήσιου ρυπαντικού φορτίου του Ερασίνου σε τόνους

	Cl	PO <sub>4</sub>	SO <sub>4</sub>	Na	K	NO <sub>3</sub>	NH <sub>4</sub>
<b>O</b>	32,0	0,0	25,8	17,7	0,98	1,9	0,01
<b>N</b>	49,2	0,1	30,1	24,5	1,33	5,3	0,26
<b>Δ</b>	60,5	0,1	33,6	45,0	1,61	7,4	0,40
<b>I</b>	242,8	0,3	145,6	190,2	6,66	24,3	1,11
<b>Φ</b>	208,0	0,3	137,1	160,3	5,44	21,8	1,37
<b>M</b>	161,5	0,1	106,2	109,3	5,46	17,4	0,84
<b>A</b>	71,2	0,1	52,9	48,0	1,73	8,7	0,38
<b>M</b>	29,1	0,0	21,4	14,9	0,40	2,5	0,17
<b>I</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0	0,00
<b>I</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0	0,00
<b>A</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0	0,00
<b>Σ</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0	0,00
<b>ΣΥΝΟΛΟ ΤΟΝΟΙ</b>	<b>854,3</b>	<b>1,0</b>	<b>552,6</b>	<b>609,9</b>	<b>23,62</b>	<b>89,4</b>	<b>4,54</b>

### 8.5.5 Βαρέα μέταλλα επιφανειακών νερών

Τα βαρέα μεταλλικά ιχνοστοιχεία στα υδάτινα οικοσυστήματα, απαντώνται κυρίως στην στερεά φάση. Η μικρότερη ποσότητα αυτών βρίσκεται εν διαλύσει καθώς το μεγαλύτερο μέρος κατακρημνίζεται και καταλήγει στα ιζήματα του πυθμένα. Στην παρούσα έρευνα μετρήθηκαν τα εν διαλύσει βαρέα μεταλλικά ιχνοστοιχεία. Το pH του υδάτινου περιβάλλοντος επηρεάζει την κινητικότητα των βαρέων μεταλλικών ιχνοστοιχείων (Farkas et al. 2007, Singh et al. 2005, Okonwo et al. 2005). Οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων στα επιφανειακά ύδατα, ευρισκόμενες είτε εν διαλύσει είτε σε ιζήματα, παρατηρούνται αυξημένες την ξηρή περίοδο συγκριτικά με την υγρή (Papaflippaki et al. 2008, Adeyemo et al. 2008).

Για κάθε στοιχείο υπάρχει ένα διαφορετικό εύρος pH στο οποίο η προσρόφηση φτάνει στο ανώτατο όριο (σχεδόν 100%). Η διαλυτότητα μειώνεται σταδιακά στο εύρος pH 7-8 λόγω ισχυρής προσρόφησης και κατακρήμνισης. Γενικά σε υψηλά pH αυξάνονται οι διαδικασίες της προσρόφησης. Σε έντονα αλκαλικό περιβάλλον τα βαρέα μεταλλικά ιχνοστοιχεία απομακρύνονται από την υδατική φάση υπό τη μορφή αδιάλυτων υδροξειδίων (McBride, 1994).

Η σωματιδιακή φάση είναι αυτή που καθορίζει την τύχη των ιχνοστοιχείων στο υδάτινο σώμα. Η σωματιδιακή φάση αποτελείται από μικροοργανισμούς, βιολογικά υπολείμματα, αργιλικά ορυκτά, οξειδία και οργανικά μακρομόρια. Η μεγάλη ειδική επιφάνεια των σωματιδίων παίζει αποτελεσματικό ρόλο στην προσρόφηση των ρυπαντικών ουσιών και βαρέων μετάλλων (Stumm, 1987, 1992).

Τα βαρέα μέταλλα στα επιφανειακά νερά εξετάζονται ξεχωριστά για την απομόνωση περιπτώσεων επίδρασης των σωληνώσεων μεταφοράς νερού στην ποιότητα αυτού και την εξέταση τυχόν ρίψης αποβλήτων. Οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων των επιφανειακών υδάτων του Μεγάλου Ρέματος και του Ερασίνου παρουσιάζονται στους πίνακες 8.22 και 8.23 αντίστοιχα.

**Πίνακας 8.22:** Συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων στα επιφανειακά νερά του Μεγάλου Ρέματος σε ppm

	Fe	Mn	Cu	Zn	Cd	Pb	Ni	Co	Cr	Sr
Ραφ.1	0,013	0,106	0,092	0,059	0,044	0,173	0,095	0	0,163	2,747
Ραφ.2	0,010	0,078	0,098	0,268	0,042	0,162	0,219	0	0,379	2,609
Ραφ.3	0,011	0,102	0,093	0,084	0,060	0,159	0,108	0	0,304	1,991
Ραφ.4	0,010	0,067	0,097	0,073	0,059	0,000	0,000	0	0,460	2,787
Ραφ.5	0,026	0,055	0,101	0,064	0,047	0,200	0,000	0	0,232	1,978
min	0,010	0,055	0,092	0,059	0,042	0,000	0,000	0	0,163	1,978
max	0,026	0,106	0,101	0,268	0,060	0,200	0,219	0	0,460	2,787
μέσος όρος	0,014	0,082	0,096	0,110	0,050	0,139	0,084	0	0,308	2,422
st.dev.	0,007	0,022	0,004	0,089	0,009	0,079	0,091	0	0,117	0,405
πλήθος	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5

**Πίνακας 8.23:** Συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων στον ποταμό Ερασίνο σε ppm

	Fe	Mn	Cu	Zn	Cd	Pb	Ni	Co	Cr	Sr
Ερ.1	0,013	0,088	0,094	0,433	0,054	0,047	0,234	0	0,569	2,662
Ερ.2	0,094	0,082	0,095	0,078	0,051	0,170	0,144	0	0,290	2,594
Ερ.3	0,022	0,07	0,087	0,262	0,055	0,000	0,187	0	0,459	2,130
min	0,013	0,070	0,087	0,078	0,051	0,000	0,144	0,000	0,290	2,130
max	0,094	0,088	0,095	0,433	0,055	0,170	0,234	0,000	0,569	2,662
μέσος όρος	0,043	0,080	0,092	0,258	0,053	0,072	0,188	0,000	0,439	2,462
st.dev.	0,057	0,004	0,001	0,251	0,002	0,087	0,064	0,000	0,197	0,048
πλήθος	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

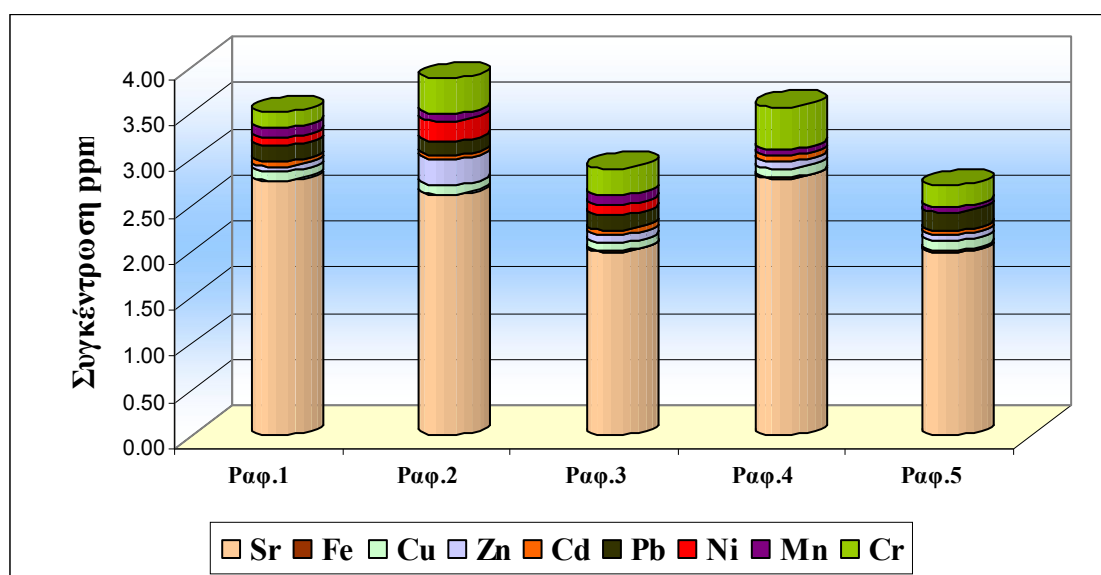
Στα σχήματα 8.131 και 8.132 παρουσιάζονται οι μέσοι όροι των συγκεντρώσεων των βαρέων μετάλλων που προσδιορίζονται στα επιφανειακά νερά των δυο ρεμάτων στις διάφορες θέσεις δειγματοληψίας.

Οι τιμές συγκέντρωσης και στα δύο ρεμάτα κυμαίνονται σχεδόν στα ίδια επίπεδα. Μεταξύ των στοιχείων το Sr, το Cr και ο Zn χαρακτηρίζονται από τις υψηλότερες συγκεντρώσεις, ενώ το Co δεν ανιχνεύεται.

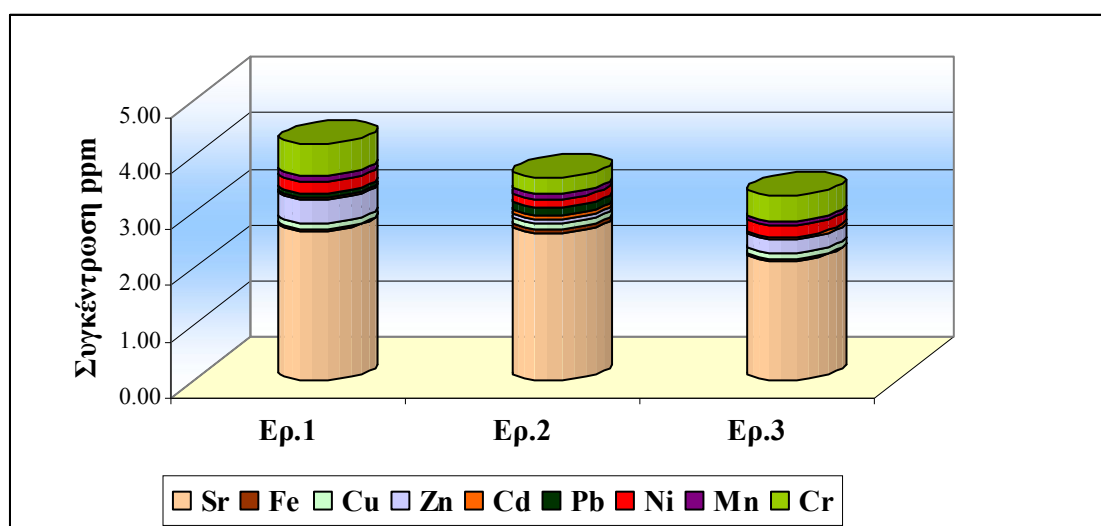
Η μέση συσσώρευση των βαρέων μετάλλων στα επιφανειακά νερά της περιοχής έρευνας ακολουθεί την ακόλουθη σειρά:

**Μεγάλο Ρέμα Ραφήνας: Sr > Cr > Pb > Zn > Cu > Ni > Mn > Cd > Fe > Co**

**Ερασίνο: Sr > Cr > Zn > Ni > Cu > Mn > Pb > Cd > Fe > Co**



Σχήμα 8.131: Γραφική απεικόνιση των μέσων όρων συγκέντρωσης των βαρέων μετάλλων που προσδιορίζονται στα νερά του Μεγάλου Ρέματος Ραφήνας.



Σχήμα 8.132: Γραφική απεικόνιση των μέσων όρων συγκέντρωσης των βαρέων μετάλλων που προσδιορίζονται στα νερά του Ερασίνο.

Η παρουσία των βαρέων μετάλλων στα επιφανειακά νερά της περιοχής σχετίζεται, όπως περιγράφηκε πιο πάνω για τα υπόγεια νερά, τόσο με γεωγενείς παράγοντες όσο και με ανθρώπινες δραστηριότητες. Βασικοί τροφοδοτές των νερών σε βαρέα μέταλλα



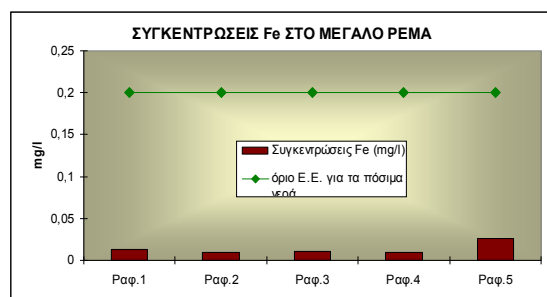
είναι οι μικρές εμφανίσεις των οφιολιθικών σωμάτων, οι σημειακές εμφανίσεις μεικτών θειούχων ορυκτών (Mixed Sulfides PBG) στη βάση των Κρητιδικών ασβεστόλιθων στην περιοχή μεταξύ Παιανίας και Κορωπίου και οι σχιστόλιθοι (Alexakis et al. 1998, Serelis et al. 2010). Επίσης η παρουσία της οργανικής ύλης μέσα στους Νεογενείς σχηματισμούς συμμετέχει ενεργά στην τροφοδοσία των υπόγειων και των επιφανειακών νερών σε βαρέα μέταλλα. Ο βασικότερος φορέας σε βαρέα μέταλλα είναι τα υπόγεια νερά των σχηματισμών της περιοχής που εισρέουν στα υδρορέματα μέσω πλευρικών διηθήσεων.

Ένα σημαντικό ποσοστό των συγκεντρώσεων των βαρέων μετάλλων στα επιφανειακά νερά προέρχεται από τα φωσφορικά λιπάσματα και γεωργικά φάρμακα που εφαρμόζονται στις έντονα καλλιεργούμενες εκτάσεις της περιοχής έρευνας και ιδιαίτερα οι ανεξέλεγκτες εισροές αποβλήτων βιοτεχνικών μονάδων (Stamatis et al., 2006, Kabata-Pendias and Mukherjee 2007, Giannouloupoulos and Gkitoni, 2008).

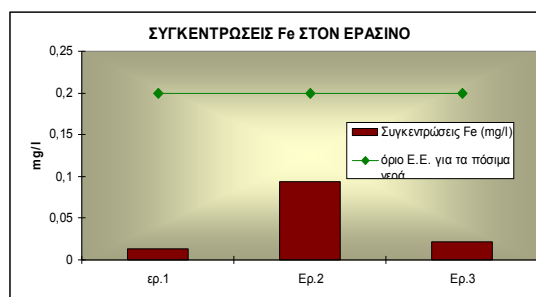
### **Ολικός Σίδηρος ( $Fe^{2+}$ και $Fe^{3+}$ )**

**α) Μεγάλο Ρέμα:** Ο ολικός σίδηρος κατά μήκος του Μεγάλου Ρέματος παρουσιάζει σχετικά χαμηλές συγκεντρώσεις (σχήμα 8.133). Οι τιμές κυμαίνονται μεταξύ 0,01 και 0,026 mg/l με μέσο όρο 0,014mg/l. Συγκριτικά με τα υπόγεια νερά δεν βρέθηκαν αξιόλογες συγκεντρώσεις ολικού σιδήρου στο Μεγάλο Ρέμα. Στο σχήμα 8.133 παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις  $Fe_{tot}$  στα 5 σημεία υδροληψίας του Μεγάλου Ρέματος συγκριτικά με το ανώτατο όριο της Ε.Ε. για τα πόσιμα νερά.

Οι συγκεντρώσεις ολικού σιδήρου του Μεγάλου Ρέματος ανήκουν στο κατώτερο φάσμα συγκεντρώσεων των μεγάλων ποταμών της Ελλάδας (Εβρος, Νέστος, Στρυμόνας, Αξιός, Αλιάκμονας, Πηνειός, Ασωπός, Πηνειός Πελοποννήσου, Ευρώτας, Αλφειός και Αχελώος, ήτοι από 0,081 έως 20,355mg/l (Lekkas et al., 2004). Η επιβάρυνση του Μεγάλου Ρέματος από γεωγενείς ή και ανθρωπογενείς παράγοντες φαίνεται να είναι περιορισμένη συγκριτικά με τα υπόλοιπα μεγάλα ποτάμια, όσον αφορά αυτό το ιχνοστοιχείο.



**Σχήμα 8.133:** Διάγραμμα των συγκεντρώσεων Ολικού Σιδήρου στο Μεγάλο Ρέμα.



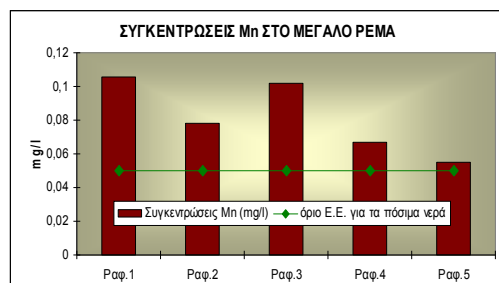
**Σχήμα 8.134:** Διάγραμμα των συγκεντρώσεων Ολικού Σιδήρου στον ποταμό Ερασίνο.

**β) Ερασίνο:** Ο ολικός σίδηρος στα 3 σημεία του Ερασίνου παρουσιάζει αρκετά χαμηλές συγκεντρώσεις που δεν ξεπερνούν το ανώτατο όριο της Ε.Ε. για τα πόσιμα νερά (σχήμα 8.134). Οι τιμές κυμαίνονται μεταξύ 0,013 και 0,094 mg/l με μέσο όρο 0,043mg/l. Οι συγκεντρώσεις ολικού σιδήρου στον Ερασίνο, όπως και στο Μεγάλο Ρέμα είναι στην πλειοψηφία τους μικρότερες από τις ελάχιστες συγκεντρώσεις των μεγάλων ποταμών της Ελλάδας (0,081 mg/l - Lekkas et al., 2004), κάτι που δείχνει μικρή υποβάθμιση των υδάτων του Ερασίνου όσον αφορά αυτό το στοιχείο, συγκριτικά με τα ύδατα των μεγάλων ποταμών.

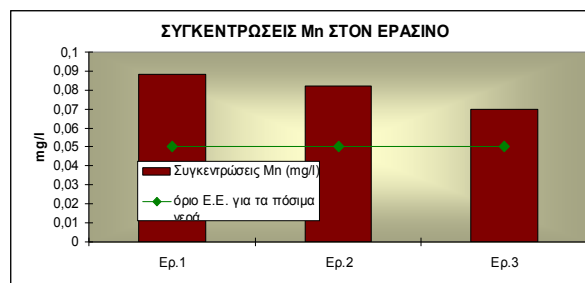
## Μαγγάνιο (Mn)

α) Μεγάλο Ρέμα: Οι συγκεντρώσεις μαγγανίου που βρέθηκαν στα επιφανειακά νερά του Μεγάλου Ρέματος είναι αρκετά υψηλές και ξεπερνούν το ανώτατο όριο της Ε.Ε. των πόσιμων υδάτων (σχήμα 8.135). Οι τιμές κυμαίνονται από 0,055 έως 0,106 mg/l με μέσο όρο 0,082 mg/l. Οι τιμές κατά μέσο όρο ξεπερνούν τις αντίστοιχες των υπόγειων νερών, προφανώς λόγω της χρήσης φωσφορούχων λιπασμάτων που διαφεύγουν προς τα ποτάμια (Kabata-Pendias and Pendias 1992, Mielke et al. 2002, Siegel 2002) και διαρροής αστικών λυμάτων (Kabata-Pendias and Pendias 1992, Mielke et al. 2002). Η χαμηλότερη συγκέντρωση παρατηρείται στα ανάντη της λεκάνης απορροής στο σημείο Ραφ. 5 που προέρχεται από τα πρηνή του Υμηττού, ενώ η υψηλότερη τιμή παρατηρείται στην εκβολή του ποταμού.

Στο σχήμα 8.135 παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις μαγγανίου στα 5 σημεία του Μεγάλου Ρέματος συγκριτικά με το ανώτατο όριο της Ε.Ε. για τα πόσιμα νερά. Οι συγκεντρώσεις μαγγανίου στα μεγάλα ποτάμια της Ελλάδας κυμαίνονται από 0,039 mg/l έως 0,455 mg/l (Lekkas et al., 2004). Οι τιμές στο χαμηλής ροής Μεγάλο Ρέμα ανήκουν στο εύρος αυτών των τιμών.



Σχήμα 8.135 Διάγραμμα των συγκεντρώσεων Μαγγανίου στο Μεγάλο Ρέμα.



Σχήμα 8.136 Διάγραμμα των συγκεντρώσεων Μαγγανίου στον ποταμό Ερασίνο.

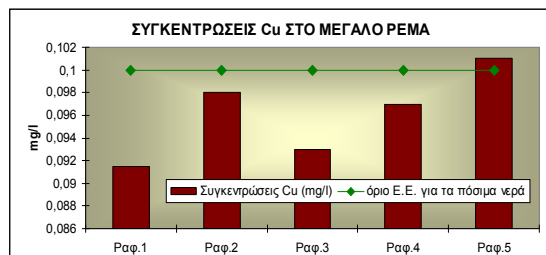
β) Ερασίνο: Οι συγκεντρώσεις μαγγανίου στα νερά του Ερασίνου ξεπερνούν το ανώτατο όριο της Ε.Ε. των πόσιμων υδάτων και κυμαίνονται από 0,070 έως 0,088 mg/l με μέσο όρο 0,08 mg/l (σχήμα 8.136). Οι τιμές πιθανότατα αποδίδονται σε χρήση φωσφορούχων λιπασμάτων που διαφεύγουν προς τα ποτάμια (Kabata-Pendias and Pendias 1992, Mielke et al. 2002, Siegel 2002) εφόσον οι περιοχές εκατέρωθεν του Ερασίνου είναι αμιγώς γεωργικές. Οι συγκεντρώσεις μαγγανίου του Ερασίνου ανήκουν στο εύρος τιμών των μεγάλων ποταμών της Ελλάδας (0,039 - 0,455 mg/l - Lekkas et al., 2004) και η χαμηλή ροή του Ερασίνου συγκριτικά με αυτήν των μεγάλων ποταμών υποδεικνύει την ποιοτική υποβάθμιση των υδάτων του συγκριτικά με τους μεγάλους ποταμούς.

## Χαλκός(Cu)

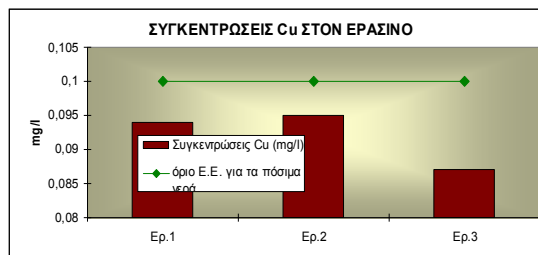
α) Μεγάλο Ρέμα: Οι συγκεντρώσεις χαλκού στα επιφανειακά νερά του Μεγάλου Ρέματος, δεν ξεπερνούν το όριο της Ε.Ε. για τα πόσιμα ύδατα, με εξαίρεση το σημείο Ραφ.5. Οι μικρές συγκεντρώσεις που βρέθηκαν στα επιφανειακά νερά του ποταμού, προφανώς αποδίδονται σε έκπλυση αγροχημικών (χαλκούχων σκευασμάτων και λιπασμάτων) από γειτονικά αγροτεμάχια (Kabata-Pendias & Pendias 1992, Kabata-Pendias & Mukherjee 2007, [www.lenntech.com/heavy-metals.htm](http://www.lenntech.com/heavy-metals.htm)). Η υψηλότερη συγκέντρωση που βρέθηκε στο σημείο Ραφ.5, αποδίδεται κυρίως σε διάλυση των οφιολιθικών σωμάτων και των σχιστόλιθων που απαντώνται κατά τόπους στο δυτικό τμήμα της περιοχής και πιθανών σημειακών εμφανίσεων μικτών θειούχων ορυκτών.

Ο μέσος όρος των συγκεντρώσεων ανέρχεται στα 0,096 mg/l και οι τιμές κυμαίνονται μεταξύ 0,092 και 0,101 mg/l (σχήμα 8.137). Οι τιμές αυτές είναι

υψηλότερες από τις τιμές που ανιχνεύθηκαν στα μεγαλύτερα ποτάμια της Ελλάδας (από 0,009 έως 0,0804mg/l - Lekkas et al., 2004), κάτι που αποδίδεται σε ρύπανση που δεν συνοδεύεται με αραιώση με μεγάλες ποσότητες νερού.



Σχήμα 8.137 Διάγραμμα των συγκεντρώσεων Χαλκού στο Μεγάλο Ρέμα.



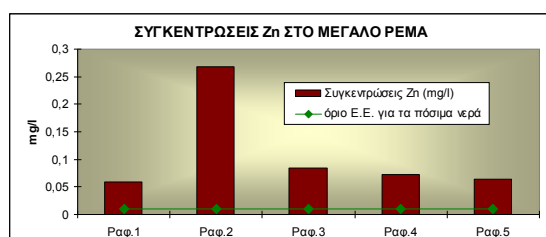
Σχήμα 8.138 Διάγραμμα των συγκεντρώσεων Χαλκού στον ποταμό Ερασίνο.

**β) Ερασίνο:** Οι συγκεντρώσεις χαλκού στον Ερασίνο, όπως και του σιδήρου δεν υπερβαίνουν το όριο της Ε.Ε. για τα πόσιμα νερά, σε αντίθεση με τα υπόγεια νερά της περιοχής στα οποία προφανώς οι υψηλές συγκεντρώσεις χαλκού αποδίδονται σε μεγάλο ποσοστό σε γεωγενείς και κατά ένα ποσοστό σε ανθρωπογενείς παράγοντες. Οι μικρές συγκεντρώσεις που βρέθηκαν στα επιφανειακά νερά του Ερασίνου, αποδίδονται κατά ένα ποσοστό και σε έκπλυση απ' την εφαρμογή χαλκούχων σκευασμάτων και λιπασμάτων στους παρακείμενους αγρούς (Kabata-Pendias & Pendias 1992, Kabata-Pendias & Mukherjee 2007, [www.lenntech.com/heavy-metals.htm](http://www.lenntech.com/heavy-metals.htm)). Ο μέσος όρος των συγκεντρώσεων ανέρχεται στα 0,092 mg/l και οι τιμές κυμαίνονται μεταξύ 0,087 και 0,095 mg/l (σχήμα 8.138). Όπως και στο Μεγάλο Ρέμα, έτσι και στον Ερασίνο οι τιμές συγκεντρώσεων χαλκού υπερβαίνουν τις ελάχιστες και μέγιστες τιμές των μεγάλων ποταμών της Ελλάδας (0,009 - 0,0804mg/l , Lekkas et al., 2004).

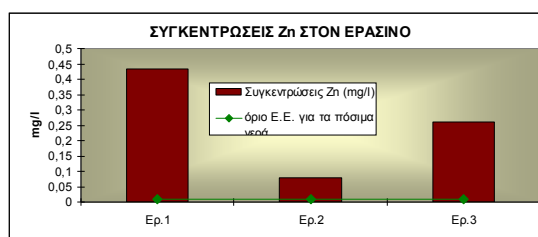
### Ψευδάργυρος (Zn)

**α) Μεγάλο Ρέμα:** Οι συγκεντρώσεις ψευδαργύρου κατά μήκος του Μεγάλου Ρέματος είναι εξίσου σημαντικές με τα υπόγεια νερά, χωρίς ωστόσο να παρουσιάζουν υπερβολικά υψηλές τιμές, όπως παρατηρήθηκε σε κάποια πηγάδια και γεωτρήσεις λόγω χρήσης σωληνώσεων υδροληψίας. Ένα σημαντικό ποσοστό του ψευδαργύρου που εμφανίζεται στα επιφανειακά νερά της περιοχής αποδίδεται στην οξείδωση των μικτών θειούχων ορυκτών των μεταμορφωμένων σχηματισμών της περιοχής (Alexakis & Kelepertsis, 1998). Ο Zn είναι επίσης κύριο συστατικό αρκετών φυτοφαρμάκων, βελτιωτικών και λιπασμάτων (Ross 1994, Siegel 2002, Kabata-Pendias and Mukherjee 2007, [www.lenntech.com/heavy-metals.htm](http://www.lenntech.com/heavy-metals.htm)).

Στις τιμές παρατηρείται μεγάλο εύρος, από 0,059 έως 0,268 mg/l με μέσο όρο 0,110 mg/l (σχήμα 8.139). Οι ελάχιστες τιμές ανήκουν στο εύρος τιμών των μεγαλύτερων ποταμών της Ελλάδας ήτοι από 0,031 έως 0,143 mg/l (Lekkas et al., 2004). Η μέγιστη τιμή στο σημείο Ραφ.2 είναι σχεδόν διπλάσια της μέγιστης παρατηρηθείς συγκέντρωσης στα μεγάλα ποτάμια της Ελλάδας.



Σχήμα 8.139: Διάγραμμα των συγκεντρώσεων Ψευδαργύρου στο Μεγάλο Ρέμα.



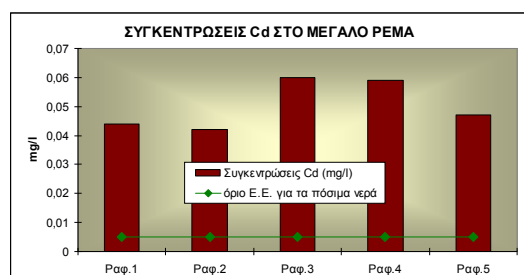
Σχήμα 8.140: Διάγραμμα των συγκεντρώσεων Ψευδαργύρου στον ποταμό Ερασίνο.

**β) Ερασίνο:** Οι συγκεντρώσεις ψευδαργύρου στα επιφανειακά νερά του Ερασίνου είναι αρκετά υψηλότερες από τις αντίστοιχες στα επιφανειακά ύδατα του Μεγάλου Ρέματος. Η οξείδωση θεικών ορυκτών είναι η κύρια αιτία εμφάνισης υψηλών συγκεντρώσεων ψευδαργύρου κατά μήκος του Ερασίνου (Alexakis & Kelepertsis, 1998). Η υπερβολική χρήση φυτοφαρμάκων, βελτιωτικών και λιπασμάτων, κύριο συστατικό των οποίων είναι ο Zn (Ross 1994, Siegel 2002, Kabata-Pendias and Mukherjee 2007, [www.lenntech.com/heavy-metals.htm](http://www.lenntech.com/heavy-metals.htm)) δρα αθροιστικά στις συγκεντρώσεις Zn των επιφανειακών υδάτων.

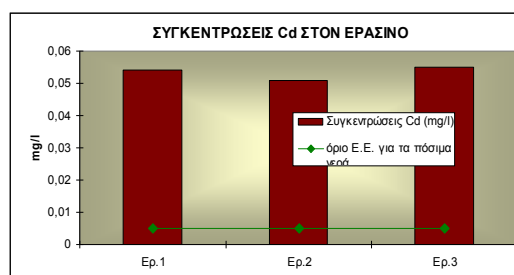
Στις τιμές παρατηρείται μεγάλο εύρος, από 0,078 έως 0,433 mg/l με μέσο όρο 0,258 mg/l. Όλες οι τιμές ξεπερνούν το ανώτατο όριο της Ε.Ε. για τα πόσιμα νερά (σχήμα 8.140). Η ελάχιστη τιμή ανήκει στο εύρος τιμών των μεγαλύτερων ποταμών της Ελλάδας που κυμαίνονται από 0,031 έως 0,143 mg/l (Lekkas et al. 2004), ενώ οι άλλες δύο τιμές ξεπερνούν κατά πολύ τη μέγιστη ανιχνευθείσα συγκέντρωση στα μεγάλα ποτάμια της Ελλάδας.

### Κάδμιο (Cd)

**α) Μεγάλο Ρέμα:** Οι συγκεντρώσεις Cd στα επιφανειακά νερά, όπως και στα υπόγεια, είναι αρκετά πάνω απ' το όριο που θέτει η Ε.Ε. για τα πόσιμα νερά (σχήμα 8.141). Η προέλευση του καδμίου είναι κυρίως ανθρωπογενής (χρήση αγροχημικών εμπλουτισμένων σε Cd- Kabata-Pendias & Pendias, 1992). Οι συγκεντρώσεις κατά μήκος του Μεγάλου Ρέματος κυμαίνονται από 0,06 έως 0,042mg/l με μέσο όρο 0,05 mg/l.



**Σχήμα 8.141:** Διάγραμμα των συγκεντρώσεων Καδμίου στο Μεγάλο Ρέμα.



**Σχήμα 8.142:** Διάγραμμα των συγκεντρώσεων Καδμίου στον ποταμό Ερασίνο.

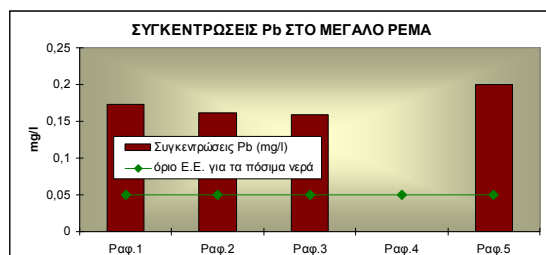
**β) Ερασίνο:** Οι συγκεντρώσεις Cd στα επιφανειακά νερά του Ερασίνου, όπως και στο Μεγάλο Ρέμα και τα υπόγεια, είναι αρκετά πάνω απ' το όριο που θέτει η Ε.Ε. για τα πόσιμα νερά (σχήμα 8.142). Οι υψηλές συγκεντρώσεις καδμίου είναι κυρίως ανθρωπογενείς κι αποδίδονται σε χρήση αγροχημικών εμπλουτισμένων σε Cd (Kabata-Pendias & Pendias, 1992). Οι τιμές κατά μήκος του Ερασίνου παρουσιάζουν ελάχιστο εύρος από 0,051 έως 0,055mg/l και μέσο όρο 0,053mg/l (σχήμα 8.142).

### Μόλυβδος (Pb)

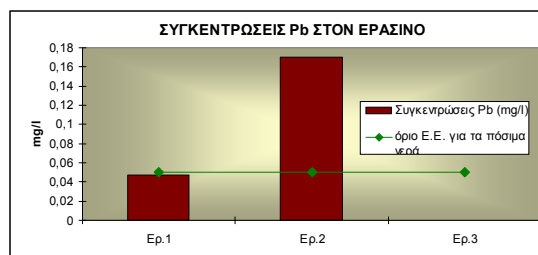
**α) Μεγάλο Ρέμα:** Τα επιφανειακά νερά του Μεγάλου Ρέματος περιέχουν σημαντικές ποσότητες Pb. Όπως και στα υπόγεια νερά, η προέλευσή του αποδίδεται κυρίως σε γεωγενείς παράγοντες και κατά ένα ποσοστό στην έκλυση τόσο από εφαρμογή αγροχημικών προϊόντων όσο και από κατακρήμιση μολυβδούχων ρύπων (Pacyna 1995, Alloway 1995, Kabata-Pendias & Mukherjee 2007). Στο σχήμα 8.143 παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις μολύβδου στα 5 σημεία του Μεγάλου Ρέματος συγκριτικά με το ανώτατο όριο της Ε.Ε. για τα πόσιμα νερά. Οι τιμές κυμαίνονται από 0 έως 0,2 mg/l με μέσο όρο 0,139 mg/l και υπερβαίνουν κατά πολύ τη μέγιστη τιμή

(0,0129mg/l) που βρέθηκε στα μεγάλα ποτάμια της Ελλάδας (Lekkas et al., 2004). Η μηδενική τιμή στο σημείο Ραφ. 4 πιθανόν να οφείλεται σε δειγματοληπτικό λάθος.

Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις Pb στο Μεγάλο Ρέμα, συγκριτικά με τον Ερασίνο αποδίδονται στο ότι ο ποταμός αυτός διαρρέει από τα πρηνή του Υμηττού, μεταφέροντας τα στοιχεία διάλυσης των πετρωμάτων του Δυτικού τμήματος, όπου εμφανίζεται έντονη μεταλλοφορία (οφιόλιθοι, σχιστόλιθοι, μικτά θειούχα ορυκτά).



Σχήμα 8.143: Διάγραμμα των συγκεντρώσεων Μολύβδου στο Μεγάλο Ρέμα.



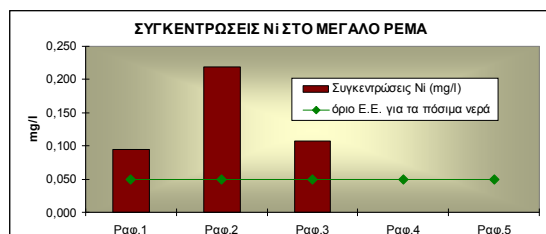
Σχήμα 8.144: Διάγραμμα των συγκεντρώσεων Μολύβδου στον ποταμό Ερασίνο.

**β) Ερασίνο:** Οι τιμές κυμαίνονται από 0 έως 0,17 mg/l (σχήμα 8.144) και μέσο όρο 0,072 mg/l. Η υψηλότερη συκέντρωση (0,17 mg/l) εντοπίστηκε στο σημείο Ερ.2 που περιβάλλεται από τμήματα έντονης γεωργικής δραστηριότητας. Οι τιμές στην πλειοψηφία τους υπερβαίνουν τη μέγιστη τιμή (0,0129 mg/l) των μεγαλύτερων ποταμών της Ελλάδας (Lekkas et al. 2004). Οι υψηλές συγκεντρώσεις μολύβδου στα ύδατα του Ερασίνο αποδίδονται, όπως και στο Μεγάλο Ρέμα, σε γεωγενείς παράγοντες αλλά και κατά ένα ποσοστό στην έκπλυση από εφαρμογή αγροχημικών προϊόντων (Alloway 1995, Kabata-Pendias & Mukherjee 2007).

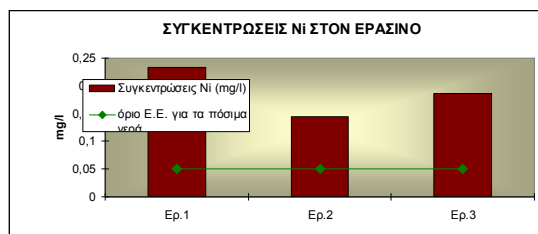
### Νικέλιο (Ni)

**α) Μεγάλο Ρέμα:** Σημαντικές τιμές παρουσιάζουν οι συγκεντρώσεις νικελίου των επιφανειακών υδάτων των σημείων Ραφ.1, Ραφ.2 και Ραφ.3 στο Μεγάλο Ρέμα ξεπερνώντας τα όρια της Ε.Ε. για τα πόσιμα νερά (σχήμα 8.145). Οι τιμές κυμαίνονται από 0 έως 0,219 mg/l με μέσο όρο ,084 mg/l. Η ύπαρξή τους, όπως και στα υπόγεια νερά αποδίδεται κυρίως στη διάλυση οφιολίθων και δευτερευόντως σε ανθρωπογενείς παράγοντες όπως η εφαρμογή αγροχημικών (Kabata-Pendias & Pendias 1992, Siegel 2002).

Οι τιμές στα σημεία 1, 3, 4 και 5 ανήκουν στο εύρος τιμών των μεγαλύτερων ποταμών της Ελλάδας (από 0,0014 έως 0,1478 mg/l - Lekkas et al. 2004) ενώ η μέγιστη τιμή (0,219 mg/l) στο σημείο Ραφ.2, πλησίον αγροτικών καλλιεργειών υπερβαίνει τη μέγιστη τιμή στα μεγάλα ποτάμια.



Σχήμα 8.145: Διάγραμμα των συγκεντρώσεων Νικελίου στο Μεγάλο Ρέμα.



Σχήμα 8.146: Διάγραμμα των συγκεντρώσεων Νικελίου στον ποταμό Ερασίνο.

**β) Ερασίνο:** Υψηλές συγκεντρώσεις νικελίου παρατηρούνται κατά μήκος του Ερασίνο που υπερβαίνουν τα όρια της Ε.Ε. για τα πόσιμα νερά. Οι τιμές κυμαίνονται από 0,144 έως 0,234 mg/l με μέσο όρο 0,188 mg/l (σχήμα 8.146). Οι ελαφρώς



υψηλότερες τιμές συγκριτικά με αυτές του Μεγάλου Ρέματος αποδίδονται στη μεταφορά των προϊόντων αποσάθρωσης των οφιολιθικών πετρωμάτων του γεωλογικού υποβάθρου της περιοχής καθώς και σε μεταφορά αυτού κι εναπόθεση στα ιζήματα του ποταμού Ερασίνου (Βρυνιώτης & Παπαδόπουλος, 2004). Σε μικρότερο ποσοστό μπορεί να οφείλονται σε προσθήκη λιπασμάτων εμπλουτισμένων με Ni (Kabata-Pendias & Pendias 1992, Siegel 2002). Η μικρότερη τιμή 0,144 mg/l συμπίπτει με τη μέγιστη παρατηρηθείς τιμή στα μεγαλύτερα ποτάμια της Ελλάδας (0,1478 mg/l - Lekkas et al., 2004).

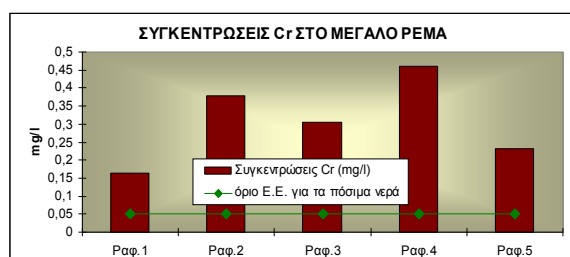
### **Κοβάλτιο (Co)**

*α) Μεγάλο Ρέμα:* Οι συγκεντρώσεις κοβαλτίου στα ποτάμια είναι μηδενικές. Η μη ανίχνευση κοβαλτίου στα επιφανειακά νερά της περιοχής αποδίδεται κατά ένα ποσοστό ενδεχόμενα στη δέσμευση αυτού από τα κolloειδή υδροξείδια του σιδήρου και μαγγανίου (Alloway 1995), αλλά και κατά ένα σημαντικό ποσοστό στην περιορισμένη ικανότητα του οργάνου της ατομικής απορρόφησης να προσδιορίζει συγκεντρώσεις χαμηλότερες της οριακής τιμής των 0,001 mg/l. Οι τιμές ανήκουν στο χαμηλότερο φάσμα του εύρους τιμών των μεγαλύτερων ποταμών της Ελλάδας (από 0 έως 0,0163 mg/l - Lekkas et al. 2004).

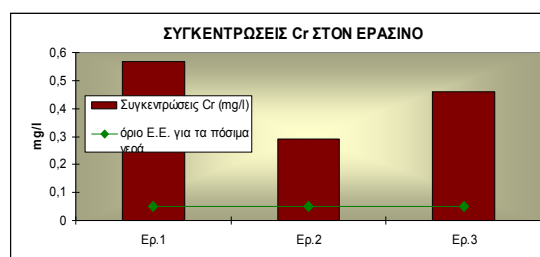
*β) Ερασίνος:* Οι συγκεντρώσεις κοβαλτίου στον Ερασίνο, όπως και στο Μεγάλο Ρέμα είναι επίσης μηδενικές και ανήκουν στο χαμηλότερο φάσμα του εύρους τιμών των μεγαλύτερων ποταμών της Ελλάδας (από 0 έως 0,0163 mg/l - Lekkas et al., 2004).

### **Χρώμιο ολικό (Cr)**

*α) Μεγάλο Ρέμα:* Οι συγκεντρώσεις χρωμίου των επιφανειακών νερών του Μεγάλου Ρέματος παρουσιάζουν ιδιαίτερα υψηλές τιμές που κυμαίνονται από 0,163 έως 0,46 mg/l με μέσο όρο 0,308 mg/l, ξεπερνώντας τις τιμές που εντοπίστηκαν στα μεγαλύτερα ποτάμια της Ελλάδας (0,005-0,137mg/l - Lekkas et al. 2004). Οι συγκεντρώσεις στα 5 σημεία του ποταμού ξεπερνούν κατά πολύ το ανώτατο όριο της Ε.Ε. για τα πόσιμα ύδατα (σχήμα 8.147).



**Σχήμα 8.147:** Διάγραμμα των συγκεντρώσεων Χρωμίου στο Μεγάλο Ρέμα.



**Σχήμα 8.148:** Διάγραμμα των συγκεντρώσεων Χρωμίου στον ποταμό Ερασίνο.

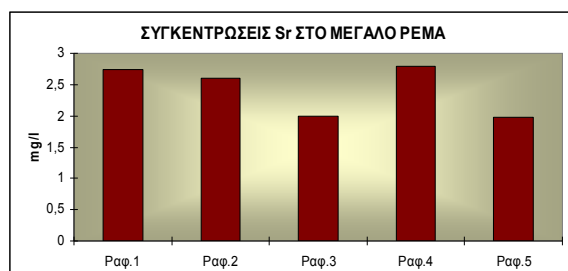
*β) Ερασίνος:* Οι συγκεντρώσεις χρωμίου των επιφανειακών νερών του Ερασίνου παρουσιάζουν πολύ υψηλότερες τιμές από αυτές του Μεγάλου Ρέματος που κυμαίνονται από 0,29 έως 0,569 mg/l (σχήμα 8.148) με μέσο όρο 0,439 mg/l. Η υψηλότερη συγκέντρωση παρατηρείται στην εκβολή του ποταμού. Οι συγκεντρώσεις χρωμίου στα μεγαλύτερα ποτάμια της Ελλάδας (0,005-0,137mg/l - Lekkas et al., 2004) είναι πολύ μικρότερες από αυτές στον Ερασίνο, λόγω αραίωσης των βαρέων μετάλλων με μεγάλη ποσότητα υδάτων.

Οι υψηλές τιμές που προσδιορίζονται τόσο στην λεκάνη του Μεγάλου Ρέματος όσο και στην λεκάνη του Ερασίνου, αποδίδονται κυρίως στην παρουσία των διάσπαρτων οφιολιθικών σωμάτων στην περιοχή, στην παρουσία κλαστικού υλικού οφιολιθικής προελεύσεως εντός των Νεογενών ιζημάτων, καθώς επίσης και στην παρουσία της

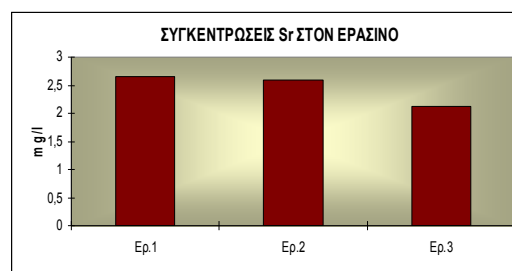
οργανικής ύλης που συνυπάρχει στους Νεογενείς σχηματισμούς. Κατά ένα μικρό ποσοστό η παρουσία του χρωμίου στα επιφανειακά νερά της περιοχής μπορεί να αποδοθεί στην υπερβολική εφαρμογή αγροχημικών στις καλλιεργούμενες εκτάσεις της περιοχής (Kabata-Pendias & Pendias 1992, Alloway 1995, Siegel 2002).

### **Στροντίο (Sr)**

**α) Μεγάλο Ρέμα:** Η ομοιόμορφη κατανομή στις συγκεντρώσεις του στροντίου σε όλα τα νερά της περιοχής παρουσιάζεται και στα επιφανειακά νερά του Μεγάλου Ρέματος. Οι τιμές παρουσιάζουν μικρότερο εύρος από τα πηγάδια και τις γεωτρήσεις και κυμαίνονται από 1,978 mg/l έως 2,787 mg/l (σχήμα 8.149). Ο μέσος όρος των τιμών του στροντίου είναι 2,422 mg/l.



**Σχήμα 8.149:** Διάγραμμα των συγκεντρώσεων Στροντίου στο Μεγάλο Ρέμα.



**Σχήμα 8.150:** Διάγραμμα των συγκεντρώσεων Στροντίου στον ποταμό Ερασίνο.

**β) Ερασίνο:** Οι συγκεντρώσεις στροντίου κατά μήκος του Ερασίνου είναι παρεμφερείς με αυτές του Μεγάλου Ρέματος και κυμαίνονται από 2,13 mg/l έως 2,662 mg/l (σχήμα 8.150) και μέσο όρο 2,462 mg/l. Οι τιμές αποδίδονται, όπως και στα υπόγεια νερά, σε γεωγενείς παράγοντες, στην ύπαρξη στροντιονίτη ( $\text{SrCO}_3$ ) και σελεστίνη ( $\text{SrSO}_4$ ) που προφανώς συνυπάρχουν στο γεωλογικό υπόβαθρο της περιοχής.

### **8.5.6 Μεταφορά ετήσιου ρυπαντικού φορτίου βαρέων μετάλλων**

Από την αντιστοίχιση των συγκεντρώσεων των βαρέων μετάλλων με την μηνιαία παροχή και την άθροιση των μηνιαίων τιμών, υπολογίστηκαν τα συνολικά φορτία μεταφοράς βαρέων μετάλλων των δυο ρεμάτων που διαρρέουν την περιοχή έρευνας, του Μεγάλου Ρέματος και του Ερασίνου, οι οποίοι εκβάλλουν στον κόλπο της Ραφήνας και της Βραυρώνας αντίστοιχα.

**α) Μεγάλο Ρέμα Ραφήνας:** Διαπιστώνεται ότι κατά μήκος του Μεγάλου Ρέματος μεταφέρονται ετησίως σημαντικά φορτία βαρέων μετάλλων ήτοι 0,11 τόνοι ολικού σιδήρου, 0,87 τόνοι μαγγανίου, 0,76 τόνοι χαλκού, 0,49 τόνοι ψευδαργύρου, 0,36 τόνοι καδμίου, 1,43 τόνοι μολύβδου, 0,78 τόνοι νικελίου, 1,34 τόνοι χρωμίου και 22,65 τόνοι στροντίου (πίνακας 8.24).

Ο σημαντικός αυτός όγκος σε βαρέα αμέταλλα υποβαθμίζει σε μεγάλο βαθμό την ποιότητα των υδάτων του ποταμού. Οι μεγάλες αυτές ποσότητες βαρέων μετάλλων μεταφέρονται στην πανίδα και χλωρίδα του υδάτινου οικοσυστήματος και κατά συνέπεια εισέρχονται στην τροφική αλυσίδα δημιουργώντας βιοσυσσωρευση και βιομεγέθυνση με ό,τι συνέπειες έχουν στη δημόσια υγεία.

**β) Ερασίνο:** Από την αντιστοίχιση των συγκεντρώσεων των βαρέων μετάλλων με την μηνιαία παροχή της εκβολής του Ερασίνου και την άθροιση των μηνιαίων τιμών, υπολογίστηκαν τα συνολικά φορτία μεταφοράς βαρέων μετάλλων του ποταμού προς τον κόλπο της Βραυρώνας. Τα ολικά ετήσια φορτία βαρέων μετάλλων στο Ερασίνο ανέρχονται σε 0,03 τόνους ολικού σιδήρου, 0,21 τόνους μαγγανίου, 0,22 τόνους χαλκού, 1,03 τόνους ψευδαργύρου, 0,13 τόνους καδμίου, 0,11 τόνους μολύβδου, 0,56



τόνους νικελίου, 1,36 τόνους χρωμίου και 6,34 τόνους στροντίου (πίνακας 8.25). Οι ποσότητες αυτές των βαρέων μετάλλων είναι σημαντικά χαμηλότερες από τις αντίστοιχες στο Μεγάλο Ρέμα λόγω της μικρότερης παροχής στον Ερασίνο και της μηδενικής ροής την ξηρή περίοδο.

Λαμβάνοντας υπόψη ότι η ευρύτερη περιοχή του Ερασίνου ανήκει σε προστατευόμενη ζώνη Natura 2000, τα ολικά ετήσια φορτία μεταφοράς βαρέων μετάλλων υποβαθμίζουν το οικοσύστημα και συντελούν σε εξαφάνιση προστατευόμενων ειδών της χλωρίδας και πανίδας.

**Πίνακας 8.24:** Ολικό φορτίο μεταφοράς βαρέων μετάλλων στο Μεγάλο Ρέμα σε τόνους

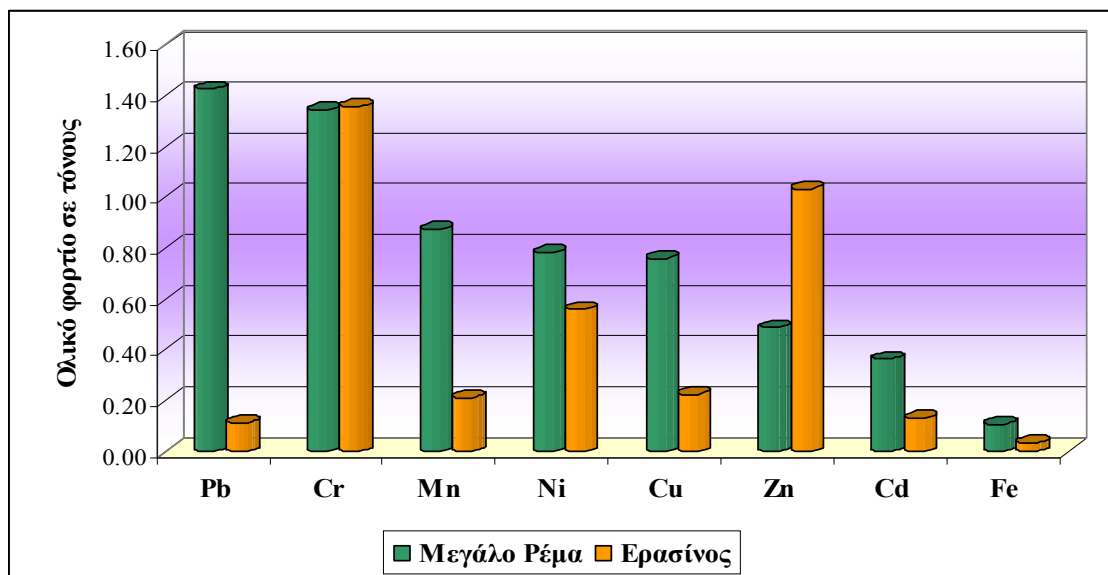
	Fe	Mn	Cu	Zn	Cd	Pb	Ni	Co	Cr	Sr
<b>O</b>	0,005	0,039	0,033	0,021	0,016	0,063	0,035	0,000	0,059	0,998
<b>N</b>	0,030	0,247	0,214	0,137	0,102	0,403	0,221	0,000	0,380	6,397
<b>Δ</b>	0,001	0,005	0,004	0,003	0,002	0,008	0,004	0,000	0,007	0,123
<b>I</b>	0,001	0,011	0,010	0,006	0,005	0,018	0,010	0,000	0,017	0,292
<b>Φ</b>	0,012	0,096	0,083	0,053	0,040	0,157	0,086	0,000	0,148	2,487
<b>M</b>	0,017	0,137	0,119	0,076	0,057	0,223	0,123	0,000	0,210	3,542
<b>A</b>	0,010	0,081	0,070	0,045	0,034	0,132	0,073	0,000	0,125	2,104
<b>M</b>	0,004	0,035	0,030	0,019	0,015	0,057	0,031	0,000	0,054	0,907
<b>I</b>	0,015	0,122	0,106	0,068	0,051	0,199	0,109	0,000	0,188	3,162
<b>I</b>	0,005	0,038	0,033	0,021	0,016	0,062	0,034	0,000	0,058	0,978
<b>A</b>	0,004	0,030	0,026	0,017	0,013	0,050	0,027	0,000	0,047	0,790
<b>Σ</b>	0,004	0,034	0,029	0,019	0,014	0,055	0,030	0,000	0,052	0,874
<b>ΣΥΝΟΛΟ ΤΟΝΟΙ</b>	<b>0,107</b>	<b>0,874</b>	<b>0,759</b>	<b>0,487</b>	<b>0,363</b>	<b>1,427</b>	<b>0,783</b>	<b>0,000</b>	<b>1,344</b>	<b>22,65</b>

**Πίνακας 8.25:** Ολικό φορτίο μεταφοράς Ερασίνου σε τόνους

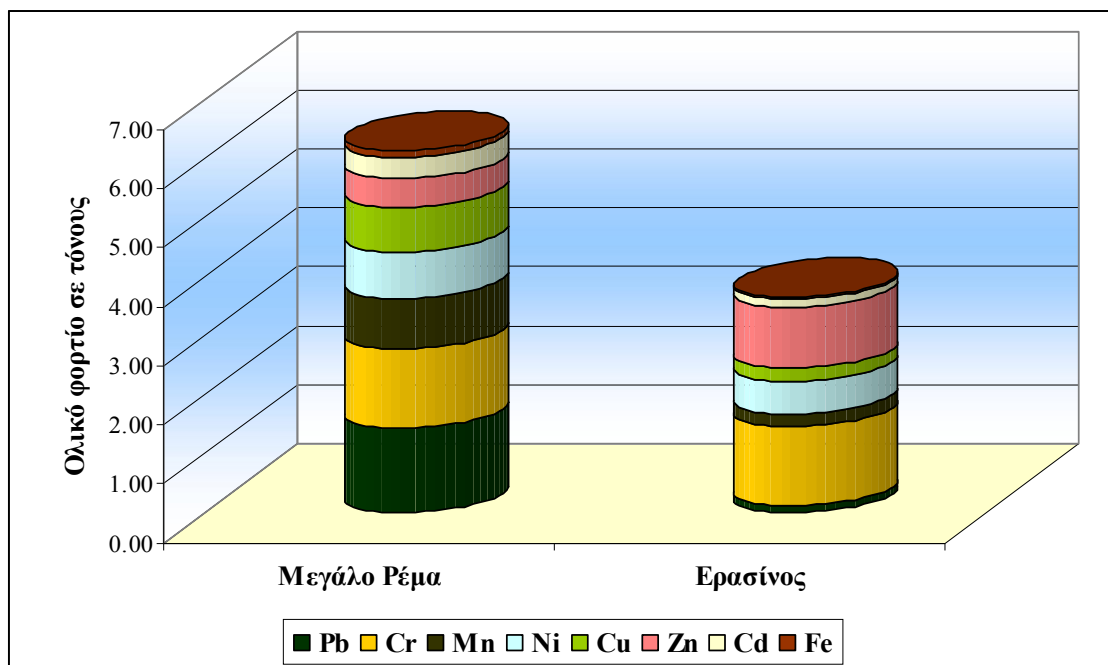
	Fe	Mn	Cu	Zn	Cd	Pb	Ni	Co	Cr	Sr
<b>O</b>	0,001	0,009	0,009	0,043	0,005	0,005	0,023	0	0,056	0,261
<b>N</b>	0,002	0,012	0,013	0,058	0,007	0,006	0,031	0	0,076	0,355
<b>Δ</b>	0,002	0,014	0,015	0,070	0,009	0,008	0,038	0	0,092	0,428
<b>I</b>	0,008	0,056	0,060	0,274	0,034	0,030	0,148	0	0,361	1,687
<b>Φ</b>	0,008	0,053	0,057	0,262	0,033	0,028	0,142	0	0,344	1,610
<b>M</b>	0,006	0,040	0,043	0,197	0,025	0,021	0,107	0	0,259	1,212
<b>A</b>	0,003	0,019	0,020	0,094	0,012	0,010	0,051	0	0,123	0,575
<b>M</b>	0,001	0,007	0,008	0,035	0,004	0,004	0,019	0	0,046	0,214
<b>I</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>I</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>A</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Σ</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>ΣΥΝΟΛΟ ΤΟΝΟΙ</b>	<b>0,031</b>	<b>0,210</b>	<b>0,224</b>	<b>1,032</b>	<b>0,129</b>	<b>0,112</b>	<b>0,558</b>	<b>0,000</b>	<b>1,356</b>	<b>6,343</b>

Στο σχήμα 8.151 παρουσιάζονται γραφικά οι όγκοι των διαφόρων βαρέων μετάλλων που μεταφέρονται στα επιφανειακά νερά των δυο ποταμών, Μεγάλου Ρέματος Ραφήνας και του Ερασίνου. Διαπιστώνεται ότι στο Μεγάλο Ρέμα την πρώτη θέση έχουν τα στοιχεία το στρόντιο, ο μόλυβδος και το χρώμιο και ακολουθούν τα υπόλοιπα στοιχεία σε μικρότερη ποσότητα. Αντίθετα στον Ερασίνο την πρώτη θέση καταλαμβάνουν τα στοιχεία χρώμιο και ψευδάργυρος και ακολουθούν τα υπόλοιπα στοιχεία.

Στο σχήμα 8.152 παρουσιάζονται γραφικά τα ετήσια ολικά φορτία των βαρέων μετάλλων που μεταφέρονται με τα επιφανειακά νερά των ποταμών Μεγάλου Ρέματος Ραφήνας και του Ερασίνου στον φυσικό αποδέκτη. Στον κόλπο της Ραφήνας αποτίθενται συνολικά 28,794 τόνοι σε διάφορα βαρέα μέταλλα, με προεξάρχουσα θέση αυτή του στρόντιου. Αντίθετα στον κόλπο της Βραυρώνας μεταφέρονται ετησίως με τον Ερασίνο 8,731 τόνοι διαφόρων βαρέων μετάλλων. Το μεγαλύτερο ποσοστό κατέχουν τα στοιχεία το στρόντιο, το χρώμιο και ο ψευδάργυρος.



Σχήμα 8.151: Γραφική απεικόνιση του μεταφερόμενου όγκου των διαφόρων μετάλλων στα επιφανειακά νερά του Μεγάλου Ρέματος Ραφήνας και του Ερασίνου.



Σχήμα 8.152: Γραφική απεικόνιση των διαφορετικών όγκων των βαρέων μετάλλων που μεταφέρονται στα επιφανειακά νερά του Μεγάλου Ρέματος Ραφήνας και του Ερασίνου.

### 8.5.7 Χαρακτηρισμός της περιβαλλοντικής κατάστασης

**α) Μεγάλο Ρέμα Ραφήνας:** Τα επιφανειακά νερά του Μεγάλου Ρέματος που εκβάλλει στη Ραφήνα έχουν υποστεί ποιοτική υποβάθμιση τόσο λόγω της διάλυσης των πετρωμάτων όσο και της επίδρασης των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων. Οι φυσικοχημικές παράμετροι και τα στοιχεία βρίσκονται στην πλειοψηφία τους πάνω από τα όρια που θέτει η Ε.Ε. και ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας για τα πόσιμα νερά (ΕΕ/80/778 1980, WHO 2006). Οι συγκεντρώσεις των κύριων κατιόντων και ανιόντων χαρακτηρίζονται γενικά από υψηλές τιμές. Οι υψηλότερες τιμές εντοπίζονται στην εκβολή του κύριου ρέματος (Ραφ.1), υποδεικνύοντας τη γεωγενή κυρίως προέλευση αυτών και την αθροιστική συσσώρευσή τους προς τα κατάντη. Οι υψηλές συγκεντρώσεις των ιόντων νατρίου, χλωρίου, καλίου και θεικών στην εκβολή οφείλονται σε μεγάλο ποσοστό σε εμπλουτισμό με θαλάσσιο σπρέι, αλλά και σε διάλυση των υπολειμματικών εβαποριτικών αλάτων που συνυπάρχουν στα Νεογενή ιζήματα.

Οι χαμηλότερες τιμές pH κι οι υψηλότερες θερμοκρασίες και συγκεντρώσεις των ενώσεων  $\text{NH}_4^+$  και  $\text{PO}_4^{3-}$  παρατηρούνται επίσης στην εκβολή και πιθανότατα αποδίδονται στη διοχέτευση αστικών λυμάτων και έκπλυση μη στεγανών βόθρων προς το κύριο ρέμα (Sikora et al. 1976, Morse et al. 1993, Καλλέργης 2000). Οι υψηλές θερμοκρασίες της θερινής περιόδου περιορίζουν την παροχή του νερού κι έχουν ως αποτέλεσμα την αύξηση των συγκεντρώσεων των θρεπτικών και των ολικών διαλυμένων αλάτων. Απ' την άλλη, τα κατακρημνίσματα τη χειμερινή περίοδο ενισχύουν την έκπλυση των εφαρμοσθέντων λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων στις αγροτικές καλλιέργειες. Τα νιτρικά ιόντα  $\text{NO}_3^-$  παρατηρούνται αυξημένα στ' ανάντη του ποταμού και αποδίδονται σε εφαρμογή αζωτούχων λιπασμάτων γι αυτό και βρέθηκαν στα σημεία διέλευσης του ποταμού από καλλιεργήσιμες εκτάσεις (Ραφ.2, Ραφ.4 & Ραφ.5).

Στον κλάδο που τροφοδοτείται από τους μεταμορφωμένους σχηματισμούς της Πεντέλης (Ραφ.3) και από περιοχές με ελάχιστες χρήσεις γης (Skoulikidis, 1993) οι συγκεντρώσεις είναι σημαντικά χαμηλότερες. Η χημική σύνθεση του παραπόταμου αυτού που τροφοδοτείται από τους μεταμορφωμένους σχηματισμούς και τον αποσαθρωμένο μανδύα της Πεντέλης διαφέρει σημαντικά από των άλλων σημείων του Μεγάλου Ρέματος, λόγω διαφορετικής λιθολογίας και της περιορισμένης χρήσης γης.

Η πλειοψηφία των βαρέων μετάλλων, με εξαίρεση τον Fe, τον Cu και το Co, ξεπερνούν τα ανώτατα όρια της οδηγίας Ε.Ε-80/778 καθώς και αντίστοιχες συγκεντρώσεις των μεγαλύτερων ποταμών της Ελλάδας. Η παρουσία τους σχετίζεται προφανώς με την επιβάρυνση των εδαφών στην εν λόγω περιοχή, λόγω της μεταλλοφορίας μεικτών θειούχων ορυκτών (Alexakis & Kelepertsis, 1998, Serelis et al 2010) και σε ρύπανση από εφαρμογή λιπασμάτων, φυτοφαρμάκων κι εδαφοβελτιωτικών (Kabata-Pendias & Pendias 1992, Ross 1994, Alloway 1995, Mielke et al. 2002, Siegel 2002, Kabata-Pendias & Mukjerjee 2007). Η χαμηλή ροή του ποταμού συγκριτικά με τους μεγαλύτερους ποταμούς της Ελλάδας δεν αραιώνει τα ιχνοστοιχεία αυτά με αποτέλεσμα να παρατηρούνται με υψηλές συγκεντρώσεις.

Οι υψηλές συγκεντρώσεις θρεπτικών αλάτων δημιουργούν καταστάσεις ευτροφισμού που έχουν επιπτώσεις στο υδάτινο οικοσύστημα των ποταμών αλλά και της παρακείμενης πανίδας και χλωρίδας. Καταστάσεις έντονης δυσσομίας δεν παρατηρήθηκαν, ωστόσο οι ολοένα αυξανόμενες μεταφερόμενες συγκεντρώσεις θρεπτικών αλάτων μπορούν πολύ σύντομα να οδηγήσουν το οικοσύστημα σε πλήρη υποβάθμιση.

**β) Ερασίνοσ:** Οι φυσικοχημικές παράμετροι δείχνουν γενικά να ακολουθούν τις εποχιακές διακυμάνσεις σε συνδυασμό με τις ανθρωπογενείς επιρροές. Η σκληρότητα κι η αγωγιμότητα δείχνουν περισσότερο το λιθολογικό-γεωχημικό προφίλ κατά μήκος του άξονα του Ερασίνου χωρίς βέβαια να παραβλέπονται και οι ανθρωπογενείς επιρροές.

Οι εντατικές αγροτικές δραστηριότητες αλλά και οι κτηνοτροφικές μονάδες στην περιοχή αντικατοπτρίζονται στις υψηλές συγκεντρώσεις ανάλωσης  $\text{KMnO}_4$ , και θρεπτικών αλάτων ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$  και  $\text{PO}_4^{3-}$ ). Οι υψηλότερες τιμές τους συσχετίζονται κυρίως με έντονες βροχοπτώσεις, χαμηλές παροχές κατά τους θερινούς μήνες και με περιοχές σημειακής ρύπανσης. Οι βροχοπτώσεις δείχνουν να μειώνουν τις συγκεντρώσεις όλων των στοιχείων και ιχνοστοιχείων, ενώ οι αυξημένες θερμοκρασίες και η χαμηλή ροή συντελούν στην αύξηση αυτών.

Οι φυσικοχημικές παράμετροι και τα στοιχεία βρίσκονται στην πλειοψηφία τους πάνω από τα όρια που θέτει η Ε.Ε. και ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας για τα πόσιμα νερά (ΕΕ/80/778 1980, WHO 2006). Οι συγκεντρώσεις των κύριων κατιόντων και ανιόντων χαρακτηρίζονται από υψηλές τιμές κι αποδίδονται σε γεωγενείς παράγοντες.

Οι υψηλές συγκεντρώσεις των θεικών ιόντων, των ιόντων νατρίου, χλωρίου, και καλίου στην εκβολή οφείλονται σε εμπλουτισμό με σπρέι από τη γειτονική θάλασσα, αλλά όπως επίσης αναφέρθηκε και στην περίπτωση του Μεγάλου Ρέματος, οφείλεται επίσης και σε διάλυση των υπολειμματικών εβαποριτικών αλάτων που συνυπάρχουν στα Νεογενή ιζήματα.

Κλιματικοί παράγοντες όπως ο άνεμος και τα κατακρημνίσματα συντελούν στη διαφοροποίηση της ποσότητας εμπλουτισμού.

Οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων, με εξαίρεση το Fe, τον Cu και το Co, ξεπερνούν τα ανώτατα όρια της οδηγίας Ε.Ε-80/778 καθώς και αντίστοιχες συγκεντρώσεις των μεγαλύτερων ποταμών της Ελλάδας. Η παρουσία τους συνδέεται με την παρουσία θειούχων ορυκτών σε μικρές εμφανίσεις και εντός των σχιστόλιθων (Alexakis & Kelepertsis, 1998, Serelis et al 2010), στην έκπλυση από εφαρμογή λιπασμάτων, φυτοφαρμάκων κι εδαφοβελτιωτικών (Kabata-Pendias & Pendias 1992, Ross 1994, Alloway 1995, Mielke et al. 2002, Siegel 2002, Kabata-Pendias & Mukjerjee 2007) στους παρακείμενους αγρούς και στη χαμηλή ροή των ποταμών.

Οι συγκεντρώσεις των ενώσεων  $\text{NH}_4^+$  και  $\text{PO}_4^{3-}$  παρατηρούνται αυξημένες στα ανάντη του Ερασίνου – σε αντίθεση με το Μεγάλο Ρέμα όπου παρατηρούνται στην εκβολή λόγω εισροής αστικών λυμάτων. Οι συγκεντρώσεις όλων των θρεπτικών αλάτων ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$  και  $\text{PO}_4^{3-}$ ) εντοπίζονται σε σημεία έντονης γεωργικής δραστηριότητας κι αποδίδονται σε έκπλυση από εφαρμογή λιπασμάτων. Το μεγάλο ύψος βροχής βοηθά την έκπλυση προς τα επιφανειακά ύδατα.

Οι υψηλές συγκεντρώσεις θρεπτικών αλάτων δημιουργούν καταστάσεις ευτροφισμού με αρνητικές συνέπειες στο υδάτινο οικοσύστημα των ποταμών, στην παρακείμενη πανίδα και χλωρίδα, αλλά και στη δημόσια υγεία. Στην επιτόπια παρατήρηση εντοπίστηκαν καταστάσεις έντονης δυσοσμίας και φουσκάλες στην επιφάνεια των υδάτων των σημείων Ερ.2 και Ερ.3.

### 8.5.8 Προτεινόμενα μέτρα προστασίας

Για την πρόληψη της ρύπανσης των ποταμών Μεγάλο Ρέμα και Ερασίνο πρέπει να εφαρμοστούν μέτρα προστασίας που θα αφορούν σε εφαρμογή θεσμικού πλαισίου, πραγματοποίηση ερευνών και εφαρμογή μέτρων για το περιορισμό της υφιστάμενης ρύπανσης.

Το 1976, η Ε.Ο.Κ. εξέδωσε την Οδηγία 76/464/ΕΟΚ, ως ένα πρόγραμμα δράσης για την πρόληψη και τη μείωση της ρύπανσης που προκαλείται από ορισμένες επικίνδυνες ουσίες που εκχέονται στα υδάτινα περιβάλλοντα. Οι χημικοί ρύποι χωρίστηκαν σε "Ουσίες του Καταλόγου Ι" οι οποίες θεωρήθηκαν ιδιαίτερα τοξικές, ανθεκτικές και βιοσυσσωρεύσιμες και απαιτείται σύμφωνα με την οδηγία (άρθρο 2) η εξάλειψή τους και σε "Ουσίες του Καταλόγου ΙΙ", λιγότερο προβληματικές που απαιτείται σύμφωνα με την οδηγία (άρθρο 2) η μείωσή τους. Οι "Ουσίες του Καταλόγου Ι" αφορούν αλογονούχες οργανικές ενώσεις, οργανοφωσφορικές ενώσεις, οργανοκασσιτερικές ενώσεις, κάδμιο, υδράργυρο και ενώσεις τους, ανθεκτικά ορυκτέλαια και συνθετικές ύλες ενώ στον «Κατάλογο ΙΙ» περιλαμβάνονται ουσίες που έχουν επιβλαβή αποτελέσματα για το υδάτινο περιβάλλον, τα οποία όμως μπορούν να περιορισθούν σε ορισμένη περιοχή και εξαρτώνται από τα χαρακτηριστικά και τη θέση των υδάτων στην οποία απορρίπτονται. Η οδηγία ορίζει πως οποιαδήποτε απόρριψη, η οποία μπορεί να περιέχει μια από τις ουσίες του Καταλόγου Ι, υπόκειται σε προηγούμενη άδεια, περιορισμένης χρονικής διάρκειας από την αρμόδια αρχή του κράτους μέλους (άρθρο 5). Αν δεν τηρούνται τα πρότυπα απόρριψης, η αρμόδια αρχή λαμβάνει όλα τα κατάλληλα μέτρα για να εξασφαλίσει την τήρηση των όρων της άδειας και, αν απαιτείται, για να απαγορεύσει την απόρριψη. Σύμφωνα με το άρθρο 11, κάθε κράτος μέλος οφείλει να προβαίνει σε απογραφή των απορρίψεων που περιέχουν ουσίες του καταλόγου Ι α)προσδιορίζοντας τις πηγές εκπομπής και καταγράφοντας τις δραστηριότητες που τις προκαλούν, β)εντοπίζοντας την παρουσία των ουσιών προτεραιότητας στις μάζες επιφανειακών και των υπόγειων υδάτων και γ)θεσπίζοντας κριτήρια για την ιεράρχηση δράσεων στις περιοχές όπου συγκεντρώνεται το μεγαλύτερο μέρος των εκπομπών. Στην ορθή εφαρμογή του θεσμικού πλαισίου θα βοηθούσε μια εκτενής έρευνα στα επιφανειακά ύδατα με αυξημένη συχνότητα δειγματοληψιών.

Η υφιστάμενη ρύπανση κυρίως από σημειακές πηγές που διαπιστώθηκε στα επιφανειακά ύδατα της περιοχής μπορεί να περιοριστεί με τη χρήση βιοκλινών. Οι βιοκλίνες αποτελούν δοκιμασμένη μέθοδο στη Βόρεια Ευρώπη (Torstensohn & Castillo, 1997) για την αποτελεσματική μείωση των εισροών γεωργικών φαρμάκων στα επιφανειακά (και υπόγεια) νερά από σημειακές πηγές ρύπανσης. Οι βιοκλίνες είναι κατασκευές που περιέχουν μίγμα εδάφους, άχρuru και άλλων φυτικών υπολειμμάτων, υψηλής περιεκτικότητας σε οργανική ουσία με σκοπό να συγκρατούν και να αποικοδομούν σταδιακά ακόμη και υψηλές συγκεντρώσεις γεωργικών φαρμάκων αποτρέποντας έτσι την μετακίνηση τους προς τα επιφανειακά και υπόγεια ύδατα.

## 8.6 Υδροχημική ταξινόμηση

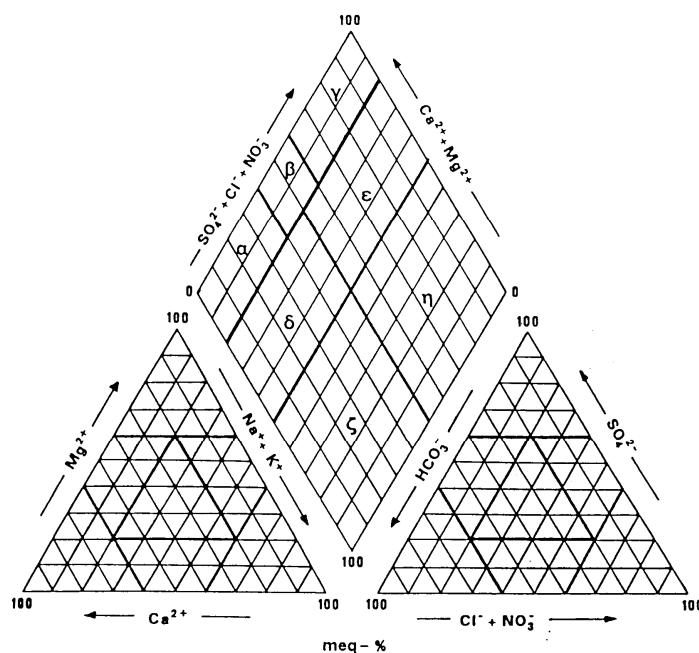
Η υδροχημική ταξινόμηση των υπόγειων νερών αποσκοπεί, βάση της ομαδοποίησης των πληροφοριών που προέρχονται από το πλήθος των χημικών αναλύσεων, α) στον καθορισμό του υδροχημικού τύπου στον οποίον ανήκουν, β) στην ερμηνεία των υδρογεωχημικών διαδικασιών που λαμβάνουν χώρα μεταξύ νερού και πετρώματος, γ) στην ανάλυση των διαφόρων πηγών προέλευσης των διαλυμένων συστατικών και δ) στην ερμηνεία της μεταβολής του ποιοτικού χαρακτήρα του νερού καθώς αυτό διέρχεται μέσω διαφόρων σχηματισμών.

Η ταξινόμηση γίνεται με την βοήθεια κυρίως των τριγραμμικών διαγραμμάτων, τα οποία είναι τα πιο εύχρηστα και επίσης παρέχουν την άμεση δυνατότητα της σύγκρισης νερών διαφορετικής ποιοτικής σύστασης. Ευδιάκριτοι τύποι υπόγειων νερών μπορούν γρήγορα να διαχωριστούν μέσω της απεικόνισής τους σε συγκεκριμένες περιοχές των διαγραμμάτων αυτών.

### 8.6.1 Ταξινόμηση κατά Piper

Το διάγραμμα Piper δημιουργήθηκε από τον Piper (1944). Το τριγραμμικό αυτό διάγραμμα είναι ένα βασικό εργαλείο στην ομαδοποίηση πληροφοριών που προέρχονται από τις υδροχημικές αναλύσεις και προσφέρεται στον καθορισμό του υδροχημικού τύπου του καθενός δείγματος νερού.

Στο τριγραμμικό διάγραμμα, τα κατιόντα  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  και  $\text{K}^+$  εκφρασμένα επί τοις εκατό (%) του συνόλου των κατιόντων προβάλλονται σαν ένα σημείο στο αριστερό τρίγωνο ενώ τα ανιόντα  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$  και  $\text{SO}_4^{2-}$ , επίσης εκφρασμένα σε % του συνόλου των ανιόντων εμφανίζονται σαν ένα σημείο στο δεξί τρίγωνο. Τα δύο αυτά σημεία (ένα σε κάθε τρίγωνο) προβάλλονται στη συνέχεια στον κεντρικό ρόμβο παράλληλα προς τις δύο πάνω πλευρές του. Το σημείο μες στο ρόμβο μας παρουσιάζει μια ολική εικόνα της ιοντικής κατανομής (Piper 1944, Καλλέργης 2000, [www.ground-water-models.com](http://www.ground-water-models.com)).



Σχήμα 8.153: Διάγραμμα Piper – Ταξινόμηση υπόγειου νερού.

Η ταξινόμηση των υπόγειων νερών με βάση το τριγραμμικό διάγραμμα Piper προέκυψε με τη βοήθεια του προγράμματος “Aquachem”, λαμβάνοντας υπόψη τις

#### ΥΠΟΜΝΗΜΑ

##### Φυσικά γαιοαλκαλικά νερά

- α) οξυανθρακικά
- β) οξυανθρακικά – θειικά
- γ) θειικά

##### Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων

- δ) οξυανθρακικά
- ε) θειικά

##### Αλκαλικά νερά

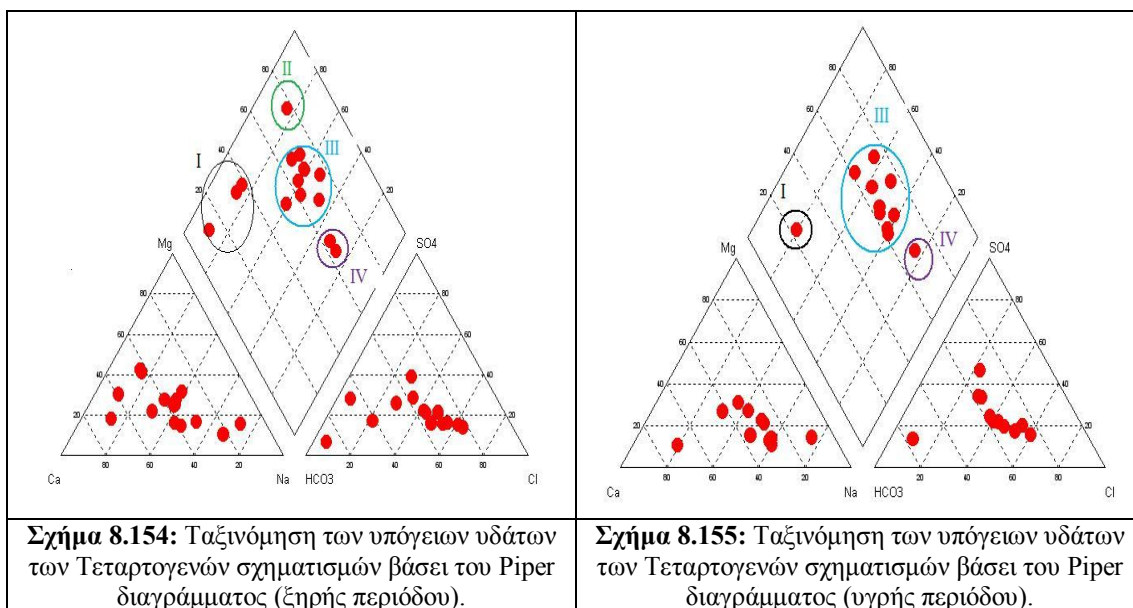
- ζ) οξυανθρακικά
- η) χλωροθειικά

τιμές των ανιόντων  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$  και  $\text{SO}_4^{=}$  και κατιόντων  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  και  $\text{K}^+$  σε  $\text{meq/l} \%$ . Στο σχήμα 8.153 φαίνεται το διάγραμμα Piper με τις 7 περιοχές (α, β, γ, δ, ε, ζ και η) για την κατηγοριοποίηση των δειγμάτων.

Αναλυτικά τα νερά της περιοχής έρευνας βάσει της λιθολογικής τους προέλευσης ταξινομούνται στις ακόλουθες υδροχημικές κατηγορίες:

**α) Υπόγεια νερά των Τεταρτογενών σχηματισμών:**

Στα σχήματα 8.154 και 8.155 παρουσιάζεται η προβολή των διαφόρων δειγμάτων νερού που προέρχονται από τους χαλαρούς σχηματισμούς του Τεταρτογενούς και αφορά τις δειγματοληψίες τους ξηρής και υγρής περιόδου ξεχωριστά.



**Σχήμα 8.154:** Ταξινόμηση των υπόγειων υδάτων των Τεταρτογενών σχηματισμών βάσει του Piper διαγράμματος (ξηρής περιόδου).

**Σχήμα 8.155:** Ταξινόμηση των υπόγειων υδάτων των Τεταρτογενών σχηματισμών βάσει του Piper διαγράμματος (υγρής περιόδου).

Στις δειγματοληψίες της υγρής περιόδου τα νερά ταξινομούνται σε τέσσερις ομάδες τύπων νερών, ενώ κατά την υγρή περίοδο εμφανίζονται τρεις ομάδες:

- **Ομάδα I:** χαρακτηρίζονται γαιοαλκαλικά – οξυανθρακικά νερά και είναι παραλλαγές του υδροχημικού τύπου:  $\text{Ca-HCO}_3$  και  $\text{Ca-Mg-HCO}_3$ . Πρόκειται για φρέσκα νερά εμπλουτισμού. Στην κατηγορία αυτή, από την πλευρά των κατιόντων κυριαρχούν τα ιόντα ασβεστίου και μαγνησίου, ενώ από την πλευρά των ανιόντων επικρατούν κυρίως τα όξινα ανθρακικά.
- **Ομάδα II:** χαρακτηρίζονται γαιοαλκαλικά–θειικά νερά και είναι παραλλαγές του υδροχημικού τύπου:  $\text{Ca-Mg-SO}_4$ . Πρόκειται για φρέσκα νερά εμπλουτισμού, στα οποία συμμετέχουν στην πλευρά των ανιόντων σε μεγάλο ποσοστό τα θειικά ιόντα.
- **Ομάδα III:** χαρακτηρίζονται γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων και θεικών και έχουν παραλλαγές από τους ακόλουθους υδροχημικούς τύπους:  $\text{Mg-Na-HCO}_3\text{-Cl}$ ,  $\text{Mg-Na-Ca-HCO}_3$ ,  $\text{Mg-Ca-Na-HCO}_3\text{-Cl}$ ,  $\text{Na-Mg-Ca-HCO}_3\text{-Cl}$ ,  $\text{Na-Ca-Cl-HCO}_3$ . Η ομάδα αυτή χαρακτηρίζεται από νερά ακαθορίστου υδροχημικού τύπου. Στην ομάδα αυτή συμμετέχει το μεγαλύτερο ποσοστό των δειγμάτων τόσο κατά την ξηρή όσο και κατά την υγρή περίοδο. Παρατηρείται ότι από το άθροισμα των κατιόντων το μεγαλύτερο ποσοστό αντιπροσωπεύεται από το μαγνήσιο και ακολούθως από το νάτριο ενώ από το άθροισμα των ανιόντων το μεγαλύτερο ποσοστό αντιπροσωπεύεται από τα οξυανθρακικά ιόντα και ακολούθως από τα ιόντα χλωρίου. Τα νερά της κατηγορίας αυτής είναι



ακαθόριστου τύπου και θεωρούνται νερά μίξης, στα οποία οι διαδικασίες κατιοανταλλαγής βρίσκονται σε στάδιο εξέλιξης.

- *Ομάδα IV:* χαρακτηρίζονται αλκαλικά – χλωροθειικά νερά και έχουν του υδροχημικούς τύπους Na–HCO<sub>3</sub>–Cl και Na–Cl. Στην ομάδα αυτή συμμετέχει μικρός αριθμός δειγμάτων, τα οποία φαίνεται να επηρεάζονται από την θαλάσσια διείσδυση. Πρόκειται για νερά τελικού πεδίου ροής. Στην κατηγορία αυτή, από την πλευρά των κατιόντων κυριαρχούν τα ιόντα νατρίου ενώ από την πλευρά των ανιόντων επικρατούν κυρίως τα χλώρια και εν μέρει τα όξινα ανθρακικά.

Στον πίνακα 8.26 που ακολουθεί, παρουσιάζονται αναλυτικά οι υδροχημικές κατηγορίες και οι αντίστοιχοι υδροχημικοί τύποι των δειγμάτων της υγρής και ξηρής περιόδου.

**Πίνακας 8.26:** Υδρογεωχημικές κατηγορίες και οι αντίστοιχοι υδροχημικοί τύποι που προκύπτουν για τα υπόγεια νερά των Τεταρτογενών σχηματισμών κατά Piper.

ΔΕΙΓΜΑ	ΥΔΡΟΓΕΩΧΗΜΙΚΗ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ		ΥΔΡΟΧΗΜΙΚΟΣ ΤΥΠΟΣ	
	Ξηρή περίοδος	Υγρή περίοδος	Ξηρή περίοδος	Υγρή περίοδος
2	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: θειικά	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: θειικά	Na–Mg–Ca–Cl–HCO <sub>3</sub> –SO <sub>4</sub>	Na–Ca–Mg–Cl–HCO <sub>3</sub> –SO <sub>4</sub>
7	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: θειικά	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: θειικά	Ca–Na–Mg–Cl–HCO <sub>3</sub> –SO <sub>4</sub>	Na–Ca–Mg–Cl–HCO <sub>3</sub> –SO <sub>4</sub>
14	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: θειικά	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: θειικά	Na–Ca–Cl–HCO <sub>3</sub> –SO <sub>4</sub>	Na–Ca–Cl–HCO <sub>3</sub> –SO <sub>4</sub>
15	Αλκαλικά νερά: χλωροθειικά	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: θειικά	Na–Ca–Cl–HCO <sub>3</sub> –SO <sub>4</sub>	Na–Ca–SO <sub>4</sub> –HCO <sub>3</sub> –Cl
17	Αλκαλικά νερά: χλωροθειικά	Αλκαλικά νερά: χλωροθειικά	Na–Ca–Cl–HCO <sub>3</sub> –SO <sub>4</sub>	Na–Ca–Cl–HCO <sub>3</sub> –SO <sub>4</sub>
22	Αλκαλικά νερά: χλωροθειικά	Αλκαλικά νερά: χλωροθειικά	Na–Cl–HCO <sub>3</sub> –SO <sub>4</sub>	Na–Cl–HCO <sub>3</sub> –SO <sub>4</sub>
24	Φυσικά γαιοαλκαλικά νερά: οξυανθρακικά	Φυσικά γαιοαλκαλικά νερά: οξυανθρακικά	Ca–HCO <sub>3</sub>	Ca–HCO <sub>3</sub>
25	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: θειικά	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: θειικά	Na–Ca–Mg–Cl–HCO <sub>3</sub> –SO <sub>4</sub>	Na–Ca–Mg–Cl–HCO <sub>3</sub> –SO <sub>4</sub>
29	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: θειικά	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: θειικά	Ca–Na–Mg–SO <sub>4</sub> –HCO <sub>3</sub>	Ca–Na–Mg–SO <sub>4</sub> –HCO <sub>3</sub>
46	Φυσικά γαιοαλκαλικά νερά: οξυανθρακικά	Φυσικά γαιοαλκαλικά νερά: οξυανθρακικά	Ca–Mg–HCO <sub>3</sub>	Ca–HCO <sub>3</sub>
58	Φυσικά γαιοαλκαλικά νερά: θειικά		Ca–Mg–Cl–SO <sub>4</sub> –HCO <sub>3</sub>	
71	Φυσικά γαιοαλκαλικά νερά: οξυανθρακικά		Ca–Mg–HCO <sub>3</sub> –Cl	
87	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: θειικά	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: θειικά	Na–Ca–Mg–HCO <sub>3</sub> –Cl–SO <sub>4</sub>	Na–Ca–Mg–HCO <sub>3</sub> –SO <sub>4</sub> –Cl
88	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: θειικά	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: θειικά	Na–Ca–HCO <sub>3</sub> –Cl–SO <sub>4</sub>	Na–Ca–HCO <sub>3</sub> –SO <sub>4</sub> –Cl
94	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: θειικά	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: θειικά	Na–Ca–Mg–Cl–HCO <sub>3</sub> –SO <sub>4</sub>	Ca–Na–Mg–Cl–HCO <sub>3</sub> –SO <sub>4</sub>

Με βάση τα προηγούμενα προκύπτει ότι η πλειοψηφία των δειγμάτων των υπόγειων νερών που φιλοξενούνται στους Τεταρτογενείς σχηματισμούς, ανήκει κατά μεγάλο ποσοστό (≈60%) στην κατηγορία των γαιοαλκαλικών νερών με υψηλό ποσοστό αλκαλίων. Το μεγαλύτερο ποσοστό των δειγμάτων αυτών προέρχεται από τα βόρεια, κεντρικά και ανατολικά παράκτια τμήματα της περιοχής έρευνας (Ραφήνα, Άρτεμις, Μαρκόπουλο). Ένα μικρό ποσοστό ανήκει στην κατηγορία των

γαιοαλκαλικών νερών που εντοπίζονται στα δυτικά της λεκάνης (Γλυκά Νερά) και δέχονται την πλευρική τροφοδοσία από τους ανθρακικούς σχηματισμούς της περιοχής.

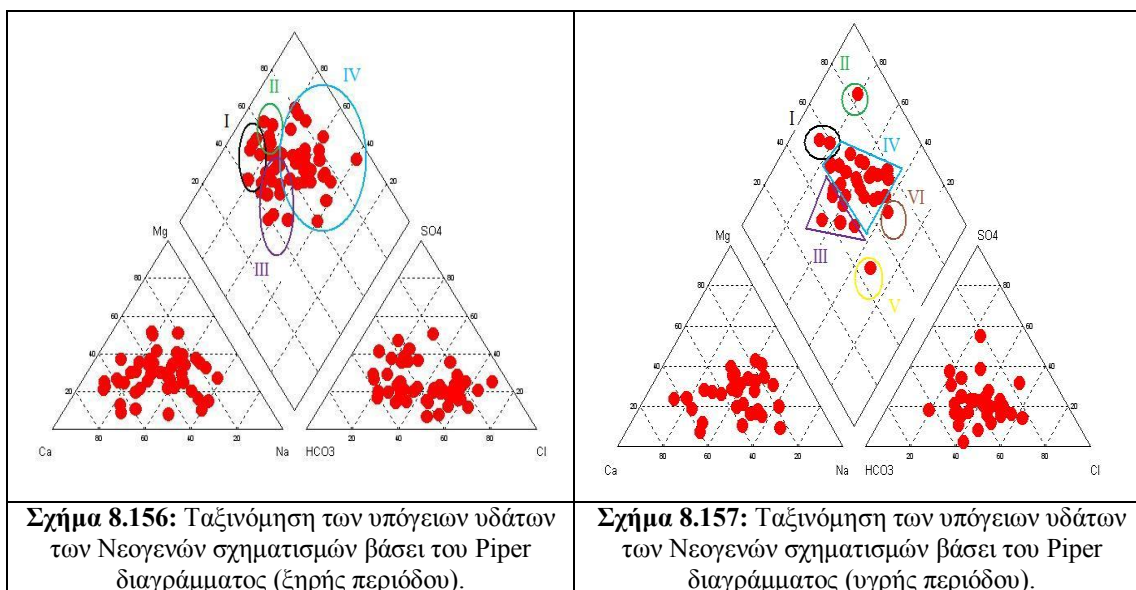
Ένα επίσης μικρό ποσοστό ( $\approx 30\%$ ) ανήκει στην κατηγορία των αλκαλικών νερών που εντοπίζονται στην παράκτια ζώνη (Βραυρώνα, Μαρκόπουλο) και σχετίζονται με την διείσδυση της θάλασσας.

Πολύ μικρό ποσοστό ( $\approx 10\%$ ) ανήκει στην κατηγορία των Κανονικών γαιοαλκαλικών νερών (οξυανθρακικών) και παρατηρούνται στο Δυτικό τμήμα, στα πρηνή του Υμηττού, λόγω τροφοδοσίας φρέσκου νερού μέσω των ανθρακικών σχηματισμών.

Γενικά διαπιστώνεται ότι τα νερά των Τεταρτογενών σχηματισμών διατηρούν τον χημισμό τους μεταξύ της ξηρής και υγρής περιόδου με ελάχιστες μόνο διαφοροποιήσεις όπου παρατηρείται σχετική αύξηση ορισμένων στοιχείων, όπως είναι του νατρίου, του χλωρίου και των θεικών.

### β) Υπόγεια νερά των Νεογενών σχηματισμών:

Στα σχήματα 8.156 και 8.157 παρουσιάζεται η προβολή των διαφόρων δειγμάτων νερού που προέρχονται από τους ημισυνεκτικούς σχηματισμούς του Νεογενούς και αφορά τις δειγματοληψίες τους ξηρής και υγρής περιόδου ξεχωριστά.



Στις δειγματοληψίες της υγρής περιόδου τα νερά ταξινομούνται σε τέσσερις ομάδες τύπων νερών, ενώ κατά την υγρή περίοδο εμφανίζονται πέντε ομάδες:

- **Ομάδα I:** χαρακτηρίζονται γαιοαλκαλικά – οξυανθρακικά – θεικά νερά και είναι παραλλαγές του υδροχημικού τύπου:  $\text{Ca-Mg-HCO}_3\text{-SO}_4$ . Πρόκειται για φρέσκα νερά εμπλουτισμού, στα οποία συμμετέχει στην πλευρά των ανιόντων εκτός των οξυανθρακικών και τα θειικά ιόντα.
- **Ομάδα II:** χαρακτηρίζονται γαιοαλκαλικά – θεικά νερά και είναι παραλλαγές του υδροχημικού τύπου:  $\text{Ca-Mg-SO}_4$ . Πρόκειται για φρέσκα νερά εμπλουτισμού, στα οποία συμμετέχουν στην πλευρά των ανιόντων σε μεγάλο ποσοστό τα θειικά ιόντα.
- **Ομάδα III και IV:** χαρακτηρίζονται γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων, οξυανθρακικών (III) και θεικών (IV) και έχουν παραλλαγές από τους ακόλουθους υδροχημικούς τύπους:  $\text{Mg-Na-HCO}_3\text{-Cl}$ ,  $\text{Mg-Na-Ca-HCO}_3$ ,  $\text{Mg-Ca-Na-HCO}_3\text{-Cl}$ ,  $\text{Na-Mg-Ca-HCO}_3\text{-Cl}$ ,  $\text{Na-Ca-Cl-HCO}_3$ . Η ομάδα αυτή

χαρακτηρίζεται από νερά ακαθορίστου υδροχημικού τύπου. Στην ομάδα αυτή συμμετέχει το μεγαλύτερο ποσοστό των δειγμάτων τόσο κατά την ξηρή όσο και κατά την υγρή περίοδο.

- **Ομάδα V:** χαρακτηρίζονται αλκαλικά – οξυανθρακικά νερά και παρουσιάζουν παραλλαγές του υδροχημικού τύπου Na–HCO<sub>3</sub>–Cl. Στην ομάδα αυτή συμμετέχει μικρός αριθμός δειγμάτων, τα οποία φαίνεται να επηρεάζονται από την θαλάσσια διείσδυση την υγρή περίοδο.
- **Ομάδα VI:** χαρακτηρίζονται αλκαλικά – χλωροθειικά νερά και παρουσιάζουν παραλλαγές του υδροχημικού τύπου Na–Cl. Στην ομάδα αυτή συμμετέχει μικρός αριθμός δειγμάτων, τα οποία φαίνεται να επηρεάζονται από την θαλάσσια διείσδυση την υγρή περίοδο.

Στον πίνακα 8.27, που ακολουθεί, παρουσιάζονται αναλυτικά οι υδροχημικές κατηγορίες και οι αντίστοιχοι υδροχημικοί τύποι των δειγμάτων της υγρής και ξηρής περιόδου.

**Πίνακας 8.27** Υδρογεωχημικές κατηγορίες και οι αντίστοιχοι υδροχημικοί τύποι που προκύπτουν για τα υπόγεια νερά των Νεογενών σχηματισμών κατά Piper.

ΔΕΙΓΜΑ	ΥΔΡΟΓΕΩΧΗΜΙΚΗ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ		ΥΔΡΟΧΗΜΙΚΟΣ ΤΥΠΟΣ	
	Ξηρή περίοδος	Υγρή περίοδος	Ξηρή περίοδος	Υγρή περίοδος
4	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: θειικά	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: θειικά	Na–Mg–Ca–Cl–HCO <sub>3</sub> –SO <sub>4</sub>	Na–Ca–Mg–Cl–HCO <sub>3</sub> –SO <sub>4</sub>
18	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: οξυανθρακικά	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: οξυανθρακικά	Na–Ca–HCO <sub>3</sub> –Cl	Na–Ca–HCO <sub>3</sub> –Cl
19	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: θειικά	Αλκαλικά νερά: οξυανθρακικά	Na–Ca–Cl–HCO <sub>3</sub> –SO <sub>4</sub>	Na–Ca–HCO <sub>3</sub> –Cl
20	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: θειικά		Na–Ca–Cl–HCO <sub>3</sub> –SO <sub>4</sub>	Na–Ca–Cl–HCO <sub>3</sub>
21	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: θειικά	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: θειικά	Na–Ca–Cl	Na–Ca–Cl–HCO <sub>3</sub> –SO <sub>4</sub>
23	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: θειικά		Na–Ca–Mg–Cl–HCO <sub>3</sub> –SO <sub>4</sub>	
26	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: θειικά	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: θειικά	Ca–Na–Mg–HCO <sub>3</sub> –Cl–SO <sub>4</sub>	Ca–Na–Mg–HCO <sub>3</sub> –Cl–SO <sub>4</sub>
31	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: οξυανθρακικά	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: θειικά	Na–Ca–Mg–HCO <sub>3</sub> –Cl	Na–Ca–Mg–HCO <sub>3</sub> –SO <sub>4</sub>
32	Φυσικά γαιοαλκαλικά νερά: οξυανθρακικά–θειικά		Ca–Mg–HCO <sub>3</sub> –SO <sub>4</sub> –Cl	
36	Φυσικά γαιοαλκαλικά νερά: θειικά		Ca–Mg–SO <sub>4</sub> –HCO <sub>3</sub> –Cl	
37	Φυσικά γαιοαλκαλικά νερά: οξυανθρακικά–θειικά	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: θειικά	Ca–Mg–HCO <sub>3</sub> –SO <sub>4</sub>	Ca–Na–HCO <sub>3</sub> –Cl–SO <sub>4</sub>
38	Φυσικά γαιοαλκαλικά νερά: οξυανθρακικά–θειικά	Φυσικά γαιοαλκαλικά νερά: οξυανθρακικά–θειικά	Ca–Mg–HCO <sub>3</sub> –SO <sub>4</sub>	Ca–Mg–HCO <sub>3</sub> –SO <sub>4</sub>
39	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: θειικά	Αλκαλικά νερά: χλωροθειικά	Ca–Mg–Na–Cl–SO <sub>4</sub>	Na–Ca–SO <sub>4</sub> –Cl
41	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: θειικά	Αλκαλικά νερά: χλωροθειικά	Na–Mg–Cl–HCO <sub>3</sub>	Na–Mg–Cl–SO <sub>4</sub>
43	Γαιοαλκαλικά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: θειικά		Na–Ca–Mg–Cl–HCO <sub>3</sub> –SO <sub>4</sub>	
44	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: οξυανθρακικά	Γαιοαλκαλικά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: οξυανθρακικά	Ca–Na–Mg–HCO <sub>3</sub> –Cl–SO <sub>4</sub>	Na–Ca–Mg–HCO <sub>3</sub> –Cl

ΔΕΙΓΜΑ	ΥΔΡΟΓΕΩΧΗΜΙΚΗ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ		ΥΔΡΟΧΗΜΙΚΟΣ ΤΥΠΟΣ	
	Ξηρή περίοδος	Υγρή περίοδος	Ξηρή περίοδος	Υγρή περίοδος
48	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: οξυανθρακικά		Ca-Na-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>	
49	Φυσικά γαιοαλκαλικά νερά: θειικά		Ca-Mg-SO <sub>4</sub> -Cl	
50	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: οξυανθρακικά		Ca- Mg-Na-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>	
51	Φυσικά γαιοαλκαλικά νερά: θειικά		Ca- Mg-SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub>	
52	Φυσικά γαιοαλκαλικά νερά: οξυανθρακικά-θειικά		Ca- Mg-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>	
53	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: θειικά		Ca- Mg-Na-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>	
54	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: θειικά		Na-Mg-Ca-Cl-SO <sub>4</sub>	
55	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: θειικά	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: θειικά	Mg- Na-Ca-HCO <sub>3</sub> -Cl-SO <sub>4</sub>	Na-Mg- Ca-SO <sub>4</sub> -Cl-HCO <sub>3</sub>
56	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: θειικά		Ca- Mg-Na-SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub>	
57	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: θειικά		Ca- Mg-Na-SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub>	
59	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: θειικά	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: θειικά	Ca-Na-Cl-SO <sub>4</sub>	Ca-Na-Mg-HCO <sub>3</sub> -Cl-SO <sub>4</sub>
60	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: θειικά	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: θειικά	Ca- Mg-Na-SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub> -Cl	Mg- Na-Ca-SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub> -Cl-SO <sub>4</sub>
61	Φυσικά γαιοαλκαλικά νερά: οξυανθρακικά-θειικά	Αλκαλικά νερά: χλωροθειικά	Mg- Ca-HCO <sub>3</sub> -Cl-SO <sub>4</sub>	Ca-Cl-SO <sub>4</sub>
62	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: οξυανθρακικά	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: θειικά	Mg- Ca-Na-HCO <sub>3</sub> -Cl	Na-Cl- HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
63	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: θειικά		Mg- Na-Cl -HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>	
64	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: θειικά	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: θειικά	Na-Ca-Cl-SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub>	Na-Ca-Cl-SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub>
65	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: θειικά	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: οξυανθρακικά	Na-Mg-Cl-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>	Na-Mg-Cl-HCO <sub>3</sub>
66	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: θειικά	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: θειικά	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub> -Cl	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub> -Cl
67	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: θειικά	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: θειικά	Na-Mg-Cl -HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>	Mg- Na-HCO <sub>3</sub> -Cl -SO <sub>4</sub>
68	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: θειικά	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: θειικά	Ca-Na-Mg-SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub>	Ca-Na-Mg-SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub>
69	Φυσικά γαιοαλκαλικά νερά: οξυανθρακικά	Φυσικά γαιοαλκαλικά νερά: οξυανθρακικά	Mg-Na-HCO <sub>3</sub> -Cl	Ca-Na-HCO <sub>3</sub> -Cl
74	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: θειικά	Φυσικά γαιοαλκαλικά νερά: οξυανθρακικά	Ca-Na-HCO <sub>3</sub> -Cl-SO <sub>4</sub>	Ca-Na-HCO <sub>3</sub> -Cl
75	Φυσικά γαιοαλκαλικά νερά: οξυανθρακικά	Φυσικά γαιοαλκαλικά νερά: οξυανθρακικά	Ca-Na-HCO <sub>3</sub> -Cl	Na-Ca-Cl -HCO <sub>3</sub>
76	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: θειικά	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: θειικά	Na-Ca-Mg- Cl-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>	Na-Mg- Ca-Cl-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
77	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: θειικά	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: θειικά	Na-Mg- Ca-Cl-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>	Mg- Na-Ca-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>

ΔΕΙΓΜΑ	ΥΔΡΟΓΕΩΧΗΜΙΚΗ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ		ΥΔΡΟΧΗΜΙΚΟΣ ΤΥΠΟΣ	
	Ξηρή περίοδος	Υγρή περίοδος	Ξηρή περίοδος	Υγρή περίοδος
80	Φυσικά γαιοαλκαλικά νερά: οξυανθρακικά-θειικά	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: οξυανθρακικά	Mg-Ca-HCO <sub>3</sub> -Cl-SO <sub>4</sub>	Na-Mg-Cl-HCO <sub>3</sub>
81	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: θειικά	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: θειικά	Na-Mg-Cl-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>	Na-Ca-Mg-Cl-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
82	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: θειικά	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: θειικά	Ca-Na-Mg-Cl-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>	Na-Ca-Mg-Cl-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
83	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: θειικά	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: θειικά	Na-Ca-Mg-Cl-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>	Na-Mg-Cl-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
84	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: οξυανθρακικά	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: θειικά	Na-Mg-Cl-HCO <sub>3</sub>	Na-Mg-Ca-Cl-HCO <sub>3</sub>
85	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: οξυανθρακικά	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: θειικά	Na-Mg-Ca-Cl-HCO <sub>3</sub>	Ca-Mg-Na-Cl-SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub>
89	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: θειικά	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: θειικά	Ca-Na-Mg-Cl-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
93	Φυσικά γαιοαλκαλικά νερά: θειικά	Φυσικά γαιοαλκαλικά νερά: θειικά	Ca-Mg-SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub>	Mg-Na-Ca-Cl-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
95	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: θειικά	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: θειικά	Na-Mg-Ca-Cl-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>	Na-Mg-Ca-Cl-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
96	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: θειικά	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: θειικά	Na-Mg-Ca-HCO <sub>3</sub> -Cl-SO <sub>4</sub>	Na-Mg-Ca-Cl-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>

Με βάση τα προηγούμενα προκύπτει ότι η πλειοψηφία των δειγμάτων των υπόγειων νερών που φιλοξενούνται στους Νεογενείς σχηματισμούς, ανήκει κατά μεγάλο ποσοστό (>70%) στην κατηγορία των γαιοαλκαλικών νερών με υψηλό ποσοστό αλκαλίων. Το μεγαλύτερο ποσοστό των δειγμάτων αυτών προέρχεται από τα κεντρικά τμήματα της περιοχής έρευνας και σχετίζονται με την ύπαρξη εβαποριτικών αλάτων στην περιοχή τροφοδοσίας τους. Μικρό ποσοστό αυτών εντοπίζεται στην παράκτια ζώνη καθώς και στα δυτικά και ανατολικά της λεκάνης και δέχονται την πλευρική τροφοδοσία από τους ανθρακικούς σχηματισμούς της περιοχής.

Ένα επίσης μικρό ποσοστό ανήκει στην κατηγορία των αλκαλικών νερών που εντοπίζονται στην παράκτια ζώνη και σχετίζονται με την διείσδυση της θάλασσας. Την υγρή περίοδο η κατηγορία των αλκαλικών νερών παρουσιάζεται και σε υπόγεια ύδατα του κεντρικού τμήματος λόγω διάλυσης εβαποριτικών πετρωμάτων με τη βοήθεια του βρόχινου νερού.

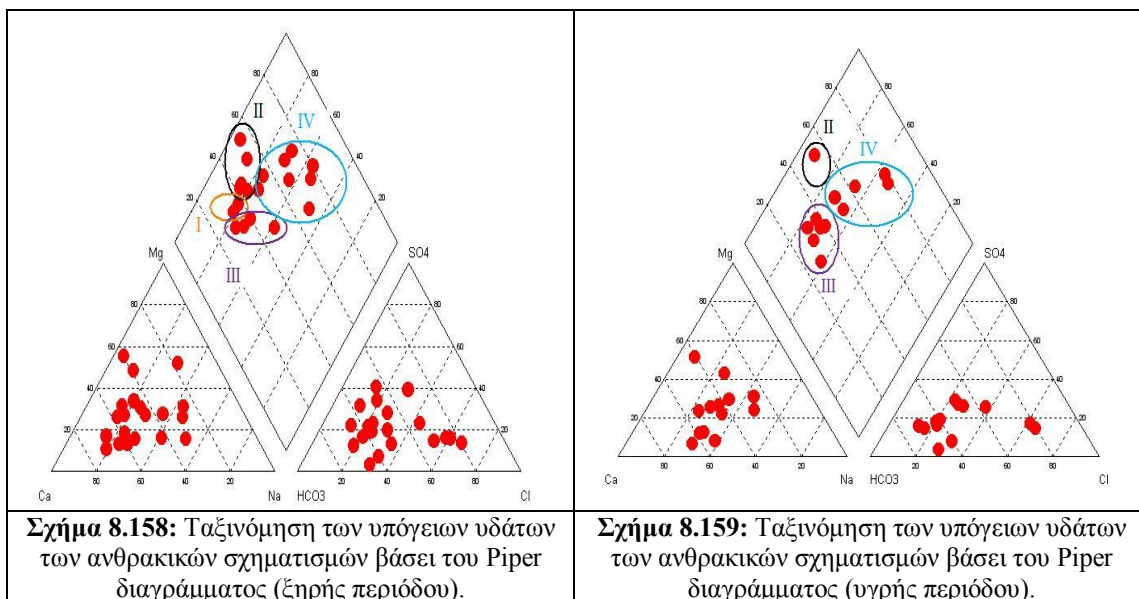
Επίσης μικρό ποσοστό ανήκει στην κατηγορία των κανονικών γαιοαλκαλικών νερών που εντοπίζονται στους πρόποδες του Υμηττού λόγω τροφοδοσίας αυτών με φρέσκο νερό που κατεισδύει μέσω των ανθρακικών σχηματισμών.

Γενικά διαπιστώνεται ότι τα νερά των Τεταρτογενών σχηματισμών διατηρούν τον χημισμό τους μεταξύ της ξηρής και υγρής περιόδου με ελάχιστες μόνο διαφοροποιήσεις όπου παρατηρείται σχετική αύξηση ορισμένων στοιχείων, όπως είναι του νατρίου, του χλωρίου και των θεικών.

#### **α) Υπόγεια νερά των ανθρακικών σχηματισμών:**

Στα σχήματα 8.158 και 8.159 παρουσιάζεται η προβολή των δειγμάτων νερού που προέρχονται από τους ανθρακικούς σχηματισμούς, όπως ασβεστόλιθοι, μάρμαρα και δολομίτες του Τριαδικού-Ιουρασικού και του Κρητιδικού και αφορά τις δειγματοληψίες της ξηρής και υγρής περιόδου ξεχωριστά.





Στις δειγματοληψίες της υγρής περιόδου τα νερά ταξινομούνται σε τέσσερις ομάδες τύπων νερών, ενώ κατά την υγρή περίοδο εμφανίζονται τρεις ομάδες:

- **Ομάδα I:** χαρακτηρίζονται γαιοαλκαλικά – οξυανθρακικά νερά και είναι παραλλαγές του υδροχημικού τύπου:  $\text{Ca-HCO}_3$  και  $\text{Ca-Mg-HCO}_3$ . Πρόκειται για φρέσκα νερά εμπλουτισμού. Στην κατηγορία αυτή, από την πλευρά των κατιόντων κυριαρχούν τα ιόντα ασβεστίου και μαγνησίου, ενώ από την πλευρά των ανιόντων επικρατούν κυρίως τα όξινα ανθρακικά.
- **Ομάδα II:** χαρακτηρίζονται γαιοαλκαλικά – οξυανθρακικά – θειικά νερά και είναι παραλλαγές του υδροχημικού τύπου:  $\text{Ca-Mg-HCO}_3\text{-SO}_4$ . Πρόκειται για φρέσκα νερά εμπλουτισμού, στα οποία συμμετέχει στην πλευρά των ανιόντων εκτός των οξυανθρακικών και τα θειικά ιόντα.
- **Ομάδα III:** χαρακτηρίζονται γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων, οξυανθρακικών και παρουσιάζουν παραλλαγές από τους ακόλουθους υδροχημικούς τύπους:  $\text{Mg-Na-HCO}_3\text{-Cl}$ ,  $\text{Mg-Ca-Na-HCO}_3\text{-Cl}$ ,  $\text{Na-Mg-Ca-HCO}_3\text{-Cl}$ ,  $\text{Na-Ca-Cl-HCO}_3$ . Η ομάδα αυτή χαρακτηρίζεται από νερά ακαθορίστου υδροχημικού τύπου.
- **Ομάδα IV:** χαρακτηρίζονται γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων, θεικών και έχουν παραλλαγές από τους ακόλουθους υδροχημικούς τύπους:  $\text{Mg-Na-Cl-SO}_4$ ,  $\text{Mg-Na-Ca-SO}_4$ ,  $\text{Mg-Ca-Na-SO}_4\text{-HCO}_3\text{-Cl}$ . Η ομάδα αυτή χαρακτηρίζεται από νερά ακαθορίστου υδροχημικού τύπου. Στις ομάδες III και IV συμμετέχει το μεγαλύτερο ποσοστό των δειγμάτων τόσο κατά την ξηρή όσο και κατά την υγρή περίοδο.

Στον πίνακα 8.28, που ακολουθεί, παρουσιάζονται αναλυτικά οι υδροχημικές κατηγορίες και οι αντίστοιχοι υδροχημικοί τύποι των δειγμάτων της υγρής και ξηρής περιόδου.

**Πίνακας 8.28:** Υδρογεωχημικές κατηγορίες και οι αντίστοιχοι υδροχημικοί τύποι που προκύπτουν για τα υπόγεια νερά των ανθρακικών σχηματισμών κατά Piper.

ΔΕΙΓΜΑ	ΥΔΡΟΓΕΩΧΗΜΙΚΗ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ		ΥΔΡΟΧΗΜΙΚΟΣ ΤΥΠΟΣ	
	Ξηρή περίοδος	Υγρή περίοδος	Ξηρή περίοδος	Υγρή περίοδος
3	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: θειικά	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: θειικά	Ca-Na-Mg-Cl-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>	Ca-Na-Mg-Cl-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
13	Φυσικά γαιοαλκαλικά νερά: οξυανθρακικά	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: οξυανθρακικά	Ca-HCO <sub>3</sub> -Cl	Ca-Na-HCO <sub>3</sub>
16	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: θειικά		Ca-Na-SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub> -Cl	
27	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: οξυανθρακικά	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: οξυανθρακικά	Ca-Na-HCO <sub>3</sub>	Ca-Na-HCO <sub>3</sub>
28	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: οξυανθρακικά		Ca-Mg-Na-HCO <sub>3</sub> -Cl	
30	Φυσικά γαιοαλκαλικά νερά: οξυανθρακικά-θειικά	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: οξυανθρακικά	Mg-Ca-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>	Mg-Ca-Na-HCO <sub>3</sub>
33	Φυσικά γαιοαλκαλικά νερά: οξυανθρακικά		Ca-HCO <sub>3</sub> -Cl	
34	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: οξυανθρακικά	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: οξυανθρακικά	Ca-Na-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>	Ca-Na-HCO <sub>3</sub>
35	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: θειικά		Ca-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>	
40	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: θειικά		Mg-Na-Cl-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>	
42	Φυσικά γαιοαλκαλικά νερά: οξυανθρακικά-θειικά	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: θειικά	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub> -Cl	Ca-Na-Mg-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
45	Φυσικά γαιοαλκαλικά νερά: οξυανθρακικά-θειικά		Ca-Mg-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub> -Cl	
47	Φυσικά γαιοαλκαλικά νερά: οξυανθρακικά-θειικά	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: οξυανθρακικά	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>	Ca-Na-HCO <sub>3</sub>
70	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: οξυανθρακικά		Ca-Na-HCO <sub>3</sub> -Cl	
72	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: θειικά	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: θειικά	Na-Mg-Ca-Cl-SO <sub>4</sub>	Na-Mg-Ca-Cl-SO <sub>4</sub>
73	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: θειικά	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: θειικά	Na-Ca-Mg-Cl-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>	Na-Ca-Mg-Cl-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
86	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: θειικά	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: οξυανθρακικά	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub> -Cl-SO <sub>4</sub>	Ca-Mg-Na-HCO <sub>3</sub> -Cl
90	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: οξυανθρακικά	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: οξυανθρακικά	Ca-Na-Mg-HCO <sub>3</sub> -Cl	Ca-Na-Mg-HCO <sub>3</sub> -Cl
91	Φυσικά γαιοαλκαλικά νερά: οξυανθρακικά-θειικά	Φυσικά γαιοαλκαλικά νερά: οξυανθρακικά-θειικά	Mg-Ca-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub> -Cl	Mg-Ca-HCO <sub>3</sub> -Cl-SO <sub>4</sub>
92	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: θειικά	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: θειικά	Na-Ca-Cl-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>	Ca-Na-Mg-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>

Με βάση τα προηγούμενα προκύπτει ότι η πλειοψηφία των δειγμάτων των υπόγειων νερών που φιλοξενούνται στους Ανθρακικούς σχηματισμούς, ανήκει κατά μεγάλο ποσοστό (περίπου 65% την ξηρή περίοδο και 95% την υγρή) στην κατηγορία των γαιοαλκαλικών νερών με υψηλό ποσοστό αλκαλίων. Το μεγαλύτερο ποσοστό των δειγμάτων αυτών προέρχεται από τα κεντρικά και κυρίως δυτικά τμήματα της περιοχής έρευνας που δέχονται την πλευρική τροφοδοσία από τους ανθρακικούς

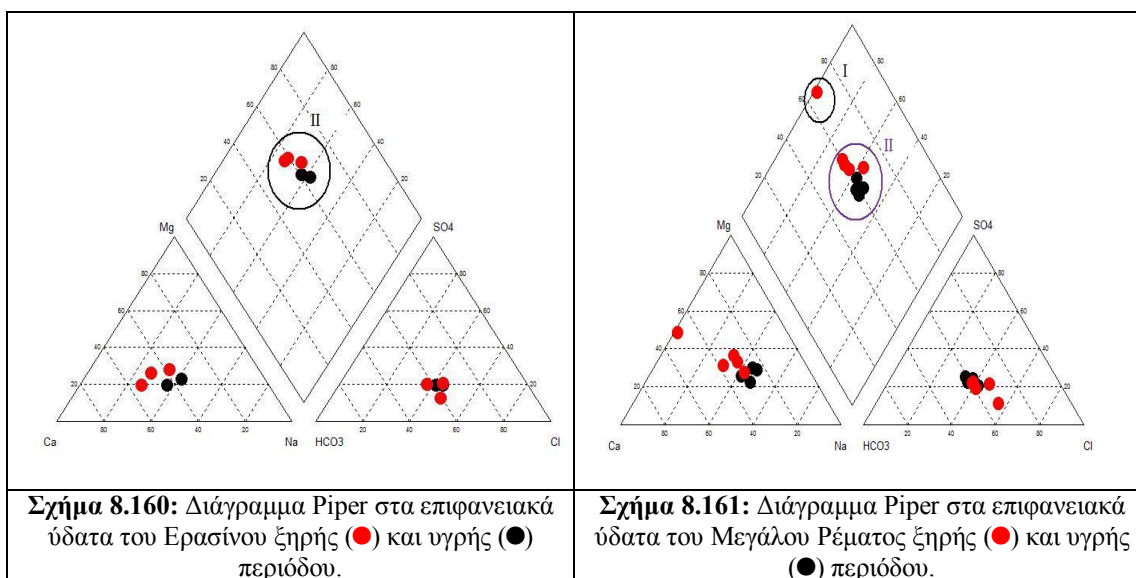


σηματισμούς της περιοχής. Πολύ μικρό ποσοστό ανήκει στην κατηγορία των αλκαλικών νερών που εντοπίζονται στην παράκτια ζώνη και σχετίζονται με την διείσδυση της θάλασσας στον καρστικό υδροφόρο. Τα ύδατα αυτά διατηρούν τον χημισμό τους μεταξύ της ξηρής και υγρής περιόδου με ελάχιστες διαφοροποιήσεις.

Μικρό ποσοστό ανήκει στην κατηγορία των κανονικών γαιοαλκαλικών νερών που εντοπίζονται στους πρόποδες του Υμηττού λόγω τροφοδοσίας αυτών με φρέσκο νερό που κατεισδύει μέσω των ανθρακικών σχηματισμών. Τα ύδατα αυτά, στην πλειοψηφία τους, μεταπίπτουν την υγρή περίοδο στην κατηγορία των γαιοαλκαλικών νερών με υψηλό ποσοστό αλκαλίων όπου παρατηρείται σχετική αύξηση ορισμένων στοιχείων, όπως είναι του νατρίου, του χλωρίου και των θεικών λόγω διάλυσης των εβαποριτικών πετρωμάτων των ανώτερων στρωμάτων με το βρόχινο νερό.

#### δ) Επιφανειακά νερά του Ερασίνου και Μεγάλου Ρέματος Ραφήνας

Στα σχήματα 8.160 και 8.161 παρουσιάζεται η προβολή των δειγμάτων επιφανειακού νερού του Ερασίνου και του Μεγάλου Ρέματος Ραφήνας



Στις δειγματοληψίες της υγρής περιόδου τα νερά ταξινομούνται σε τέσσερις ομάδες τύπων νερών, ενώ κατά την υγρή περίοδο εμφανίζονται τρεις ομάδες:

- *Ομάδα I:* χαρακτηρίζονται γαιοαλκαλικά – θειικά νερά και είναι παραλλαγές του υδροχημικού τύπου: Ca–Mg–SO<sub>4</sub>. Πρόκειται για φρέσκα νερά εμπλουτισμού, στα οποία συμμετέχουν στην πλευρά των ανιόντων σε μεγάλο ποσοστό τα θειικά ιόντα.
- *Ομάδα II:* χαρακτηρίζονται γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων, θεικών και έχουν παραλλαγές από τους ακόλουθους υδροχημικούς τύπους: Mg–Na–Cl–SO<sub>4</sub>, Mg–Na–Ca–SO<sub>4</sub>, Mg–Ca–Na–SO<sub>4</sub>–HCO<sub>3</sub>–Cl. Η ομάδα αυτή χαρακτηρίζεται από νερά ακαθορίστου υδροχημικού τύπου. Στις ομάδες *III* και *IV* συμμετέχει το μεγαλύτερο ποσοστό των δειγμάτων τόσο κατά την ξηρή όσο και κατά την υγρή περίοδο.

Στον πίνακα 8.29, που ακολουθεί, παρουσιάζονται αναλυτικά οι υδροχημικές κατηγορίες και οι αντίστοιχοι υδροχημικοί τύποι των δειγμάτων της υγρής και ξηρής περιόδου.

**Πίνακας 8.29:** Υδρογεωχημικές κατηγορίες και οι αντίστοιχοι υδροχημικοί τύποι που προκύπτουν κατά Piper για τα επιφανειακά νερά του Ερασίνου και του Μεγάλου Ρέματος Ραφήνας.

ΔΕΙΓΜΑ	ΥΔΡΟΓΕΩΧΗΜΙΚΗ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ		ΥΔΡΟΧΗΜΙΚΟΣ ΤΥΠΟΣ	
	Ξηρή περίοδος	Υγρή περίοδος	Ξηρή περίοδος	Υγρή περίοδος
Ερ.1	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: θειικά	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: θειικά	Na-Ca- Mg- Cl- HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>	Na-Ca- Mg- Cl- HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
Ερ.2	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: θειικά	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: θειικά	Ca- Na-Mg-Cl- HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>	Ca- Na-Mg-Cl- HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
Ερ.3	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: θειικά		Ca- Na-HCO <sub>3</sub> -Cl- SO <sub>4</sub>	
Ραφ.1	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: θειικά	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: θειικά	Na-Ca-Mg- Cl- HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>	Na-Ca-Mg- Cl- HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
Ραφ.2	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: θειικά	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: θειικά	Na-Mg- Ca- HCO <sub>3</sub> - Cl-SO <sub>4</sub>	Na-Mg- Ca- HCO <sub>3</sub> - Cl-SO <sub>4</sub>
Ραφ.3	Φυσικά γαιοαλκαλικά νερά: οξυανθρακικά	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: θειικά	Ca- Mg- Cl-HCO <sub>3</sub>	Ca- Mg- Na-HCO <sub>3</sub> - Cl-SO <sub>4</sub>
Ραφ.4	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: θειικά	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: θειικά	Mg- Na-Ca- HCO <sub>3</sub> - Cl-SO <sub>4</sub>	Na-Mg- Ca- HCO <sub>3</sub> - Cl-SO <sub>4</sub>
Ραφ.5	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: θειικά	Γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων: θειικά	Ca-Mg- Na- Cl- HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>	Na-Ca- Mg- HCO <sub>3</sub> - Cl-SO <sub>4</sub>

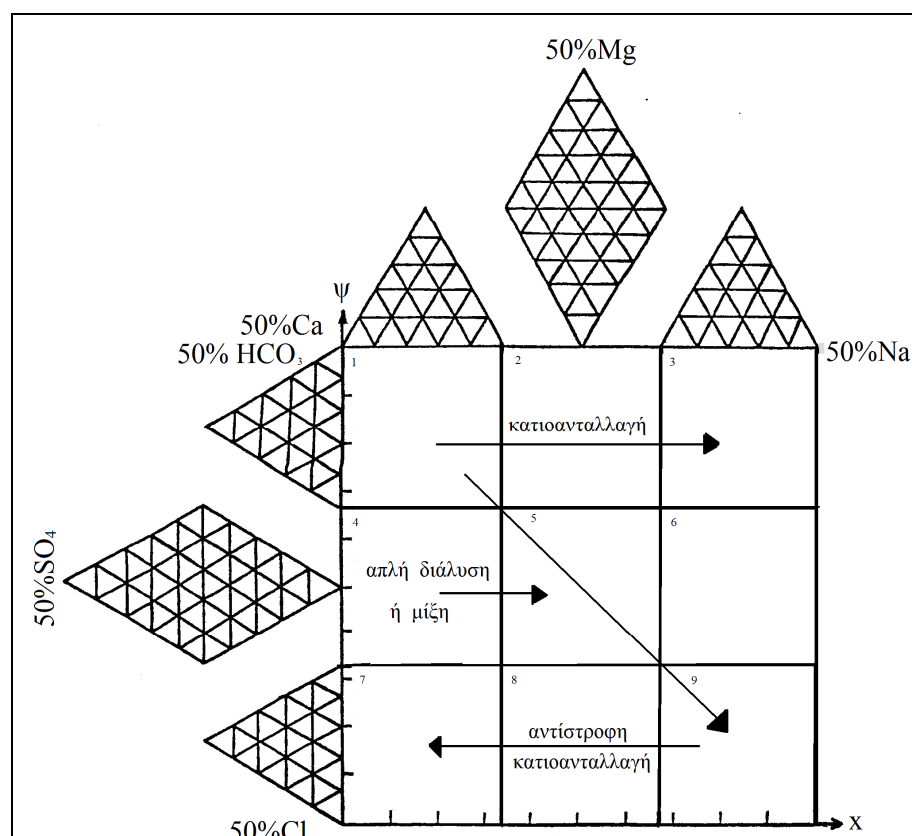
Με βάση τα προηγούμενα προκύπτει ότι η πλειοψηφία των επιφανειακών υδάτων, ανήκει κατά μεγάλο ποσοστό στην κατηγορία των γαιοαλκαλικών νερών με υψηλό ποσοστό αλκαλίων. Ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι όλα τα δείγματα του Ερασίνου ανήκουν στην κατηγορία των θεικών γαιοαλκαλικών νερών με υψηλό ποσοστό αλκαλίων. Τα δείγματα του Μεγάλου Ρέματος διαφοροποιούνται στους δύο κλάδους: τα δείγματα του κύριου κλάδου ανήκουν στην κατηγορία των γαιοαλκαλικών νερών με υψηλό ποσοστό αλκαλίων ενώ το δείγμα του Βαλανήρη που προέρχεται από τα πρανή της Πεντέλης ανήκει στα κανονικά γαιοαλκαλικά νερά την ξηρή περίοδο και στα γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων την υγρή περίοδο. Ο κλάδος αυτός που τροφοδοτείται από τον αποσαθρωμένο μανδύα της Πεντέλης διαφέρει σε χημική σύνθεση από τα άλλα σημεία λόγω διαφορετικής λιθολογίας και της περιορισμένης χρήσης γης (Skoulikidis, 1993).

Είναι αξιοσημείωτο το γεγονός ότι εξετάζοντας τις δύο περιόδους (ξηρή και υγρή) τα περισσότερα δείγματα μετακινούνται ελάχιστα προς τα κάτω στο διάγραμμα την υγρή περίοδο, κάτι που μαρτυρά την αύξηση των συγκεντρώσεων των ιόντων νατρίου και χλωρίου κατά την υγρή περίοδο.

### 8.6.2 Ταξινόμηση κατά Durov

Το διάγραμμα Durov αναπτύχθηκε απ' τη Σοβιετική Σχολή. Το διάγραμμα αυτό παρουσιάζει 9 πεδία που μας διευκολύνουν να κατανοήσουμε καλύτερα τα διάφορα φαινόμενα κατιοανταλλαγής και τις διαδικασίες μετασωματικών γραμμών εξέλιξης, όπως φαίνεται στην ερμηνεία του σχήματος 8.162 (Lloyd, Heathcote 1985).

Η ταξινόμηση των υπόγειων νερών με βάση το διάγραμμα Durov προέκυψε με τη βοήθεια προγράμματος λογισμικού και του Grapher, λαμβάνοντας υπόψη την θερμοκρασία, το pH, την ηλεκτρική αγωγιμότητα, καθώς και τα στοιχεία Mg, Ca, Na, K, HCO<sub>3</sub>, Cl, SO<sub>4</sub>, NO<sub>3</sub>, CO<sub>3</sub>, CO<sub>2</sub> και H<sub>2</sub>S (Lambrakis, 1991).



Σχήμα 8.162: Διαστελλόμενο Διάγραμμα Durov

Τα 9 πεδία του διαστελλόμενου διαγράμματος Durov είναι τα εξής:

1. Κυριαρχούν τα HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> και τα Ca<sup>2+</sup> και συνήθως αφορά φρέσκα νερά φυσικής αναπλήρωσης που κατεισδύουν διαμέσου ασβεστόλιθων, ψαμμιτών αλλά και άλλων ανθρακικών πετρωμάτων.
2. Κυριαρχεί η ρίζα HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> και είτε κυριαρχεί το Mg<sup>2+</sup> είτε κανένα κατιόν. Πρόκειται για νερά που έχουν σχέση με δολομίτες. Αν παρατηρηθεί ότι το Na<sup>+</sup> αρχίζει να αυξάνεται, αυτό φανερώνει ότι ο μηχανισμός 3 έχει αρχίσει να ενεργοποιείται.
3. Κυριαρχούν τα HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> και τα Na<sup>+</sup> και το φαινόμενο της κατιοανταλλαγής βρίσκεται σε πλήρη εξέλιξη (μηχανισμός 3).
4. Κυριαρχεί το Ca<sup>2+</sup> και είτε η SO<sub>4</sub><sup>=</sup>, είτε κανένα ανιόν. Στην περίπτωση εκείνη όπου κυριαρχούν τόσο τα Ca<sup>2+</sup> όσο και τα SO<sub>4</sub><sup>=</sup> έχουμε νερά που προέρχονται από ζώνες αναπλήρωσης διαμέσου ηφαιστειακών λαβών και γύψων. Διαφορετικά αυτό ερμηνεύεται απλά σαν ένα νερό μικτό ή νερό διαλυτοποίησης.
5. Κανένα κυρίαρχο ιόν. Πρόκειται για μικτά νερά ή νερά διαλυτοποίησης.

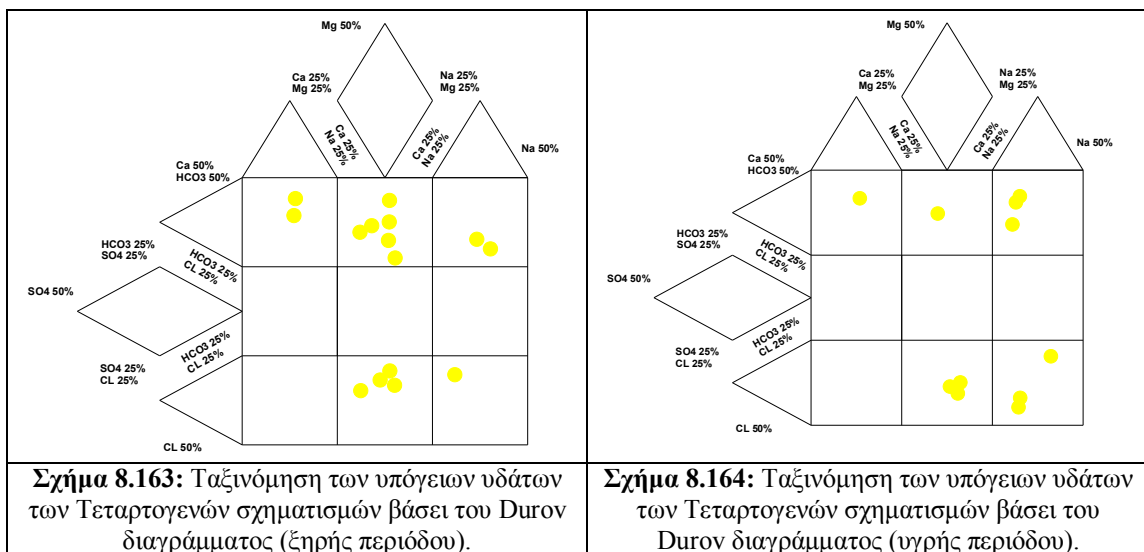
- Κυριαρχεί το  $\text{Na}^+$  και είτε κυριαρχεί η  $\text{SO}_4^-$ , είτε κανένα ανιόν. Πρόκειται για υπόγειο νερό που δεν συναντάται πολύ συχνά και είναι τις περισσότερες φορές προϊόν μείξης.
- Κυριαρχούν τα  $\text{Ca}^{2+}$  και τα  $\text{Cl}^-$ . Σπάνιο υπόγειο νερό εκτός και αν έχει προέλθει σαν τελικό προϊόν αντίστροφης κατιοανταλλαγής από νερά  $\text{Na-Cl}$ .
- Κυριαρχεί το  $\text{Cl}^-$ , χωρίς να κυριαρχεί κανένα κατιόν. Υπόγεια νερά όπου το φαινόμενο της αντίστροφης κατιοανταλλαγής βρίσκεται σε πλήρη εξέλιξη.
- Κυριαρχούν τα  $\text{Na}^+$  και τα  $\text{Cl}^-$ . Τελικά νερά πεδίου ροής.

Τα βέλη στο σχήμα 8.162 δεικνύουν τις πιο συνηθισμένες μετασωματικές πορείες των υπόγειων νερών πριν αυτά τερματίσουν στη θάλασσα ή κινηθούν προς βαθύτερους υδροφόρους ορίζοντες (Lloyd, Heathcote 1985).

Πιο κάτω ακολουθεί η περιγραφή των υδρογεωχημικών χαρακτηριστικών των δειγμάτων όπως αυτά προκύπτουν βάσει της ταξινόμησης τους κατά υδροφορέα προέλευσης:

#### α) Υπόγεια νερά των Τεταρτογενών σχηματισμών

Στα σχήματα 8.163 και 8.164 παρουσιάζονται τα σημεία προβολής των δειγμάτων των υπόγειων νερών που προέρχονται από τους χαλαρούς σχηματισμούς του Τεταρτογενούς και αφορά τις δειγματοληψίες της ξηρής και της υγρής περιόδου ξεχωριστά. Στην ομάδα αυτή ανήκουν κυρίως τα ρηγά πηγάδια της περιοχής.



Με βάση το διάγραμμα Durov διαπιστώνονται τέσσερις ομάδες υπόγειων νερών που αναπτύσσονται στην περιοχή έρευνας και στις δυο περιόδους δειγματοληψίας:

- Ομάδα 1<sup>ο</sup> Πεδίου:** ανήκουν τα υπόγεια νερά που προέρχονται από τα δυτικά τμήματα της περιοχής. Αυτά είναι φρέσκα νερά εμπλουτισμού, στα οποία κυριαρχούν τα  $\text{HCO}_3^-$  και  $\text{Ca}^{+2}$  και έχουν τον υδροχημικό τύπο  $\text{Ca-HCO}_3$ . Στα νερά αυτά ανήκει και το Νο 24 που όπως διαπιστώθηκε στα περασμένα κεφάλαια έχει δεχθεί διοχέτευση επιφανειακών υδάτων καλής ποιότητα.
- Ομάδα 2<sup>ο</sup> Πεδίου:** ανήκουν τα υπόγεια νερά που προέρχονται από τα δυτικά και ανατολικά τμήματα της περιοχής. Τα σημεία αυτά βρίσκονται πλησίον ανθρακικών σχηματισμών (του Υμηττού και του Μαρκοπούλου αντίστοιχα). Επικρατεί η ανταλλαγή κατιόντων με κυρίαρχο ανιόν την οξυανθρακική ρίζα και κατιόν το μαγνήσιο. Έχουν τον υδροχημικό τύπο  $\text{Mg-HCO}_3$  και φανερώνουν την πλήρη εξέλιξη του φαινομένου της κατιοανταλλαγής.

- **Ομάδα 3<sup>οο</sup> Πεδίου:** ανήκουν τα υπόγεια νερά που προέρχονται από τα ανατολικά τμήματα της περιοχής και συγκεκριμένα την περιοχή της Αρτέμιδος. Κυριαρχούν τα Na<sup>+</sup> και τα HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Τα νερά αυτά βρίσκονται στο τελικό στάδιο της διαδικασίας της κατιοανταλλαγής. Έχουν τον υδροχημικό τύπο Na-HCO<sub>3</sub>.
- **Ομάδα 8<sup>οο</sup> Πεδίου:** ανήκουν τα υπόγεια νερά που προέρχονται από τα ανατολικά παράκτια τμήματα της περιοχής και το Κορωπί. Συγκεκριμένα στην ομάδα αυτή κυριαρχεί το Cl<sup>-</sup> και το Mg<sup>2+</sup>. Πρόκειται για νερά όπου το φαινόμενο της αντίστροφης κατιοανταλλαγής βρίσκεται σε πλήρη εξέλιξη. Τα νερά αυτά είναι του υδροχημικού τύπου Mg-Cl.
- **Ομάδα 9<sup>οο</sup> Πεδίου:** ανήκουν τα υπόγεια νερά που προέρχονται από τα παράκτια τμήματα της Αρτέμιδος. Κυριαρχούν τα Na<sup>+</sup> και τα Cl<sup>-</sup> που σημαίνει τελικά νερά πεδίου ροής. Το φαινόμενο της αντίστροφης κατιοανταλλαγής βρίσκεται πλέον στο τελικό στάδιο. Τα νερά αυτά είναι του υδροχημικού τύπου Na-Cl.

Η μετάπτωση από την ξηρή στην υγρή περίοδο οδηγεί σε αύξηση ορισμένων στοιχείων, όπως του νατρίου, του χλωρίου και των θεικών με συνέπεια να διαφοροποιούνται οι κατηγορίες Duroν, μετακινούμενες ελαφρώς δεξιά στο διάγραμμα.

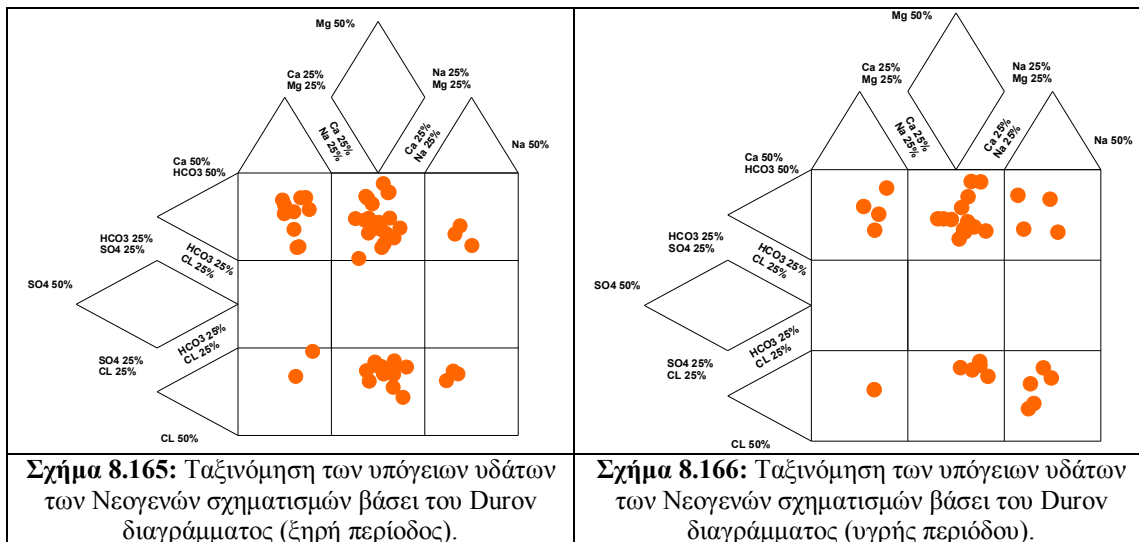
Στον πίνακα 8.30, που ακολουθεί, παρουσιάζονται αναλυτικά οι υδρογεωχημικές κατηγορίες των δειγμάτων της υγρής και ξηρής περιόδου.

**Πίνακας 8.30:** Υδρογεωχημικές κατηγορίες που προκύπτουν για τα υπόγεια νερά των Τεταρτογενών σχηματισμών κατά Duroν.

ΔΕΙΓΜΑ	ΥΔΡΟΓΕΩΧΗΜΙΚΗ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ		ΔΕΙΓΜΑ	ΥΔΡΟΓΕΩΧΗΜΙΚΗ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	
	Ξηρή περίοδος	Υγρή περίοδος		Ξηρή περίοδος	Υγρή περίοδος
2	Mg-HCO <sub>3</sub>	Mg-Cl	29	Mg-HCO <sub>3</sub>	
7	Mg-Cl	Mg-Cl	46	Ca-HCO <sub>3</sub>	Ca-HCO <sub>3</sub>
14	Mg-Cl	Mg-Cl	58	Mg-Cl	Mg-Cl
15	Na-HCO <sub>3</sub>	Na-Cl	71	Mg-HCO <sub>3</sub>	
17	Na-Cl	Na-Cl	87	Mg-HCO <sub>3</sub>	Na-HCO <sub>3</sub>
22	Na-HCO <sub>3</sub>	Na-Cl	88	Na-HCO <sub>3</sub>	Mg-HCO <sub>3</sub>
24	Ca-HCO <sub>3</sub>		94	Mg-Cl	Mg-HCO <sub>3</sub>
25	Mg-HCO <sub>3</sub>	Na-HCO <sub>3</sub>			

### β) Υπόγεια νερά των Νεογενών σχηματισμών

Στα σχήματα 8.165 και 8.166 παρουσιάζονται τα σημεία προβολής των δειγμάτων των υπόγειων νερών που προέρχονται από τους ημισυνεκτικούς σχηματισμούς του Νεογενούς και αφορά τις δειγματοληψίες της ξηρής και της υγρής περιόδου ξεχωριστά. Στην ομάδα αυτή ανήκουν κυρίως τα ρηγά πηγάδια και μικρού βάθους γεωτρήσεις της περιοχής.



**Σχήμα 8.165:** Ταξινόμηση των υπόγειων υδάτων των Νεογενών σχηματισμών βάσει του Durov διαγράμματος (ξηρή περίοδος).

**Σχήμα 8.166:** Ταξινόμηση των υπόγειων υδάτων των Νεογενών σχηματισμών βάσει του Durov διαγράμματος (υγρής περιόδου).

Με βάση το διάγραμμα Durov διαπιστώνονται τέσσερις ομάδες υπόγειων νερών που προέρχονται από τους Νεογενείς σχηματισμούς της περιοχής έρευνας:

- **Ομάδα 1<sup>ο</sup> Πεδίου:** ανήκουν τα υπόγεια νερά που προέρχονται κυρίως από τα δυτικά τμήματα της περιοχής. Αυτά είναι φρέσκα νερά εμπλουτισμού, στα οποία κυριαρχούν τα  $\text{HCO}_3^-$  και  $\text{Ca}^{+2}$  και έχουν τον υδροχημικό τύπο  $\text{Ca-HCO}_3$ .
- **Ομάδα 2<sup>ο</sup> Πεδίου:** ανήκουν τα υπόγεια νερά που προέρχονται κυρίως από τα δυτικά τμήματα της περιοχής (Παιανία και Κορωπί). Επικρατεί η ανταλλαγή κατιόντων με κυρίαρχο ανιόν την οξυανθρακική ρίζα και κατιόν το μαγνήσιο. Έχουν τον υδροχημικό τύπο  $\text{Mg-HCO}_3$  και φανερώνουν την πλήρη εξέλιξη του φαινομένου της κατιοανταλλαγής.
- **Ομάδα 3<sup>ο</sup> Πεδίου:** ανήκουν τα υπόγεια νερά που προέρχονται από την παράκτια ζώνη της περιοχής. Κυριαρχούν τα  $\text{Na}^+$  και τα  $\text{HCO}_3^-$ . Τα νερά αυτά βρίσκονται στο τελικό στάδιο της διαδικασίας της κατιοανταλλαγής. Έχουν τον υδροχημικό τύπο  $\text{Na-HCO}_3$ .
- **Ομάδα 7<sup>ο</sup> Πεδίου:** ανήκουν τα υπόγεια νερά που πηγάζουν από τον Ερασίνο στα σημεία πλησίον και αριστερά του νότιου τμήματος του Διεθνούς Αερολιμένα Αθηνών. Στην ομάδα αυτή κυριαρχούν τα ιόντα  $\text{Ca}^{2+}$  και  $\text{Cl}$ . Το φαινόμενο της αντίστροφης κατιοανταλλαγής βρίσκεται σε εξέλιξη. Τα νερά της κατηγορίας αυτής θεωρούνται ακατάλληλα για άρδευση, καθώς οδηγούν τα εδάφη σε σταδιακή υποβάθμιση.
- **Ομάδα 8<sup>ο</sup> Πεδίου:** ανήκουν τα υπόγεια νερά που προέρχονται κυρίως από την παράκτια ζώνη αλλά και από κεντρικά τμήματα της περιοχής (Παλλήνη). Εκδηλώνεται το φαινόμενο της αντίστροφης κατιοανταλλαγής. Συγκεκριμένα στην ομάδα αυτή κυριαρχεί το  $\text{Cl}$  και το  $\text{Mg}^{2+}$ . Πρόκειται για νερά όπου το φαινόμενο της αντίστροφης κατιοανταλλαγής βρίσκεται σε πλήρη εξέλιξη. Τα νερά αυτά είναι του υδροχημικού τύπου  $\text{Mg-Cl}$ .
- **Ομάδα 9<sup>ο</sup> Πεδίου:** ανήκουν τα υπόγεια νερά γεωτρήσεων που τροφοδοτούνται από τον καρστικό υδροφόρο ορίζοντα που βρίσκεται κάτω από το επίπεδο της θάλασσας. Εκδηλώνεται το φαινόμενο της αντίστροφης κατιοανταλλαγής. Κυριαρχούν τα  $\text{Na}^+$  και τα  $\text{Cl}$  που σημαίνει τελικά νερά πεδίου ροής. Το φαινόμενο της αντίστροφης κατιοανταλλαγής βρίσκεται πλέον στο τελικό στάδιο. Τα νερά αυτά είναι του υδροχημικού τύπου  $\text{Na-Cl}$ .



Οι κατηγορίες Duroν ξηρής και υγρής περιόδου διαφοροποιούνται ελάχιστα λόγω αύξησης ορισμένων στοιχείων (Na, Cl, SO<sub>4</sub><sup>-</sup>) με συνέπεια να μετακινούνται ελαφρώς δεξιά στο διάγραμμα.

Στον πίνακα 8.31, που ακολουθεί, παρουσιάζονται αναλυτικά οι υδρογεωχημικές κατηγορίες των δειγμάτων της υγρής και ξηρής περιόδου.

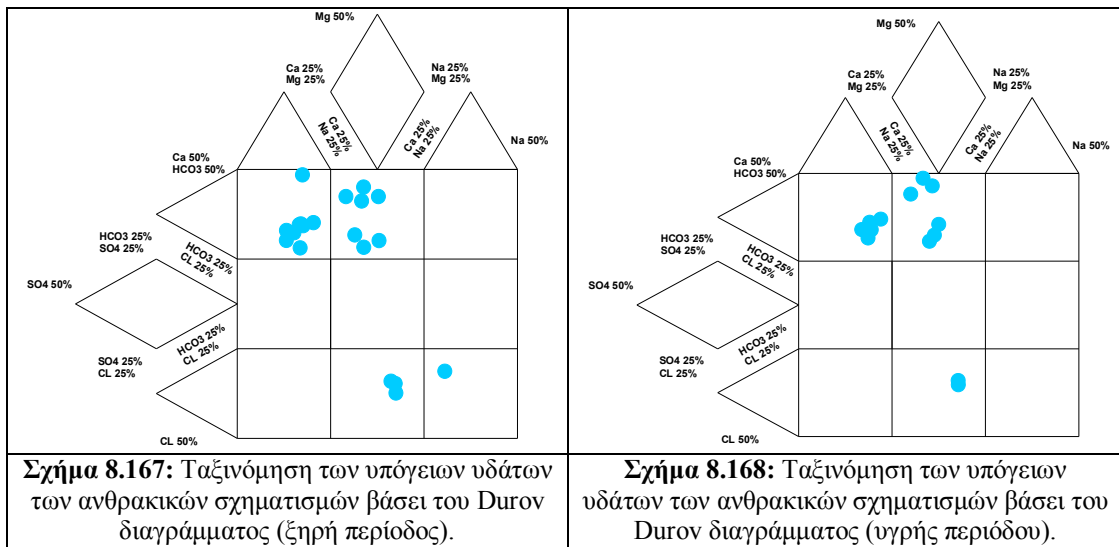
**Πίνακας 8.31:** Υδρογεωχημικές κατηγορίες που προκύπτουν για τα υπόγεια νερά των Νεογενών σχηματισμών κατά Duroν.

ΔΕΙΓΜΑ	ΥΔΡΟΓΕΩΧΗΜΙΚΗ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ		ΔΕΙΓΜΑ	ΥΔΡΟΓΕΩΧΗΜΙΚΗ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	
	Ξηρή περίοδος	Υγρή περίοδος		Ξηρή περίοδος	Υγρή περίοδος
4	Mg-Cl	Mg-HCO <sub>3</sub>	57	Mg-Cl	
18	Mg-HCO <sub>3</sub>	Na-HCO <sub>3</sub>	59	Ca-Cl	Ca-Cl
19	Na-HCO <sub>3</sub>	Na-HCO <sub>3</sub>	60	Mg-HCO <sub>3</sub>	
20	Na-Cl	Na-Cl	61	Mg-HCO <sub>3</sub>	Mg-HCO <sub>3</sub>
21	Na-HCO <sub>3</sub>	Na-Cl	62	Mg-Cl	
23	Mg-Cl		63	Mg-Cl	
26	Mg-HCO <sub>3</sub>	Mg-HCO <sub>3</sub>	64	Na-HCO <sub>3</sub>	Na-HCO <sub>3</sub>
31	Mg-HCO <sub>3</sub>	Mg-HCO <sub>3</sub>	65	Ca-HCO <sub>3</sub>	
32	Ca-HCO <sub>3</sub>		66	Mg-Cl	Mg-Cl
36	Ca-HCO <sub>3</sub>		67	Mg-HCO <sub>3</sub>	Mg-HCO <sub>3</sub>
37	Ca-HCO <sub>3</sub>	Ca-HCO <sub>3</sub>	68	Mg-HCO <sub>3</sub>	
38	Ca-HCO <sub>3</sub>	Ca-HCO <sub>3</sub>	69	Mg-Cl	Mg-Cl
39	Mg-Cl	Na-HCO <sub>3</sub>	74	Ca-HCO <sub>3</sub>	
41	Na-Cl	Na-Cl	75	Na-Cl	Na-Cl
43	Mg-HCO <sub>3</sub>		76	Mg-Cl	Mg-Cl
44	Mg-HCO <sub>3</sub>	Mg-HCO <sub>3</sub>	77	Mg-HCO <sub>3</sub>	Mg-HCO <sub>3</sub>
48	Mg-HCO <sub>3</sub>		80	Mg-Cl	Na-Cl
49	Mg-HCO <sub>3</sub>		81	Mg-Cl	Mg-Cl
50	Mg-HCO <sub>3</sub>		82	Mg-Cl	Mg-Cl
51	Ca-HCO <sub>3</sub>		83	Mg-HCO <sub>3</sub>	Mg-HCO <sub>3</sub>
52	Mg-HCO <sub>3</sub>		84	Mg-HCO <sub>3</sub>	Na-HCO <sub>3</sub>
53	Mg-Cl		85	Mg-Cl	Mg-Cl
54	Mg-HCO <sub>3</sub>	Mg-HCO <sub>3</sub>	89	Ca-Cl	Mg-HCO <sub>3</sub>
55	Mg-HCO <sub>3</sub>		93	Mg-HCO <sub>3</sub>	
56	Mg-Cl		95	Mg-HCO <sub>3</sub>	Mg-HCO <sub>3</sub>
			96	Mg-HCO <sub>3</sub>	Mg-HCO <sub>3</sub>

### γ) Υπόγεια νερά των ανθρακικών σχηματισμών

Στα σχήματα 8.167 και 8.168 παρουσιάζονται τα σημεία προβολής των δειγμάτων των υπόγειων νερών που προέρχονται από τους ανθρακικούς σχηματισμούς του Κρητιδικού και Τριαδικού-Ιουρασικού και αφορά τις δειγματοληψίες της ξηρής και της υγρής περιόδου ξεχωριστά. Στην ομάδα αυτή ανήκουν κυρίως οι βαθιές γεωτρήσεις της περιοχής.





Με βάση το διάγραμμα Durov διαπιστώνονται τέσσερις ομάδες υπόγειων νερών που προέρχονται από τους ανθρακικούς σχηματισμούς της περιοχής έρευνας:

- **Ομάδα 1<sup>ο</sup> Πεδίου:** ανήκουν τα υπόγεια νερά που εντοπίζονται ως επί το πλείστον κατά μήκος των πρανών του Υμηττού. Αυτά είναι φρέσκα νερά εμπλουτισμού, στα οποία κυριαρχούν τα  $\text{HCO}_3^-$  και  $\text{Ca}^{+2}$  και έχουν τον υδροχημικό τύπο  $\text{Ca-HCO}_3$ .
- **Ομάδα 2<sup>ο</sup> Πεδίου:** ανήκουν τα υπόγεια νερά που προέρχονται από τα δυτικά τμήματα της περιοχής αλλά και από τα Ανατολικά, στα πρανή των ανθρακικών σχηματισμών του όρους Περατή. Επικρατεί η ανταλλαγή κατιόντων με κυρίαρχο ανιόν την οξυανθρακική ρίζα και κατιόν το μαγνήσιο. Έχουν τον υδροχημικό τύπο  $\text{Mg-HCO}_3$  και φανερώνουν την πλήρη εξέλιξη του φαινομένου της κατιοανταλλαγής.
- **Ομάδα 8<sup>ο</sup> Πεδίου:** ανήκουν τα υπόγεια νερά που προέρχονται από το κεντρικό τμήμα της περιοχής καθώς κι από την περιοχή του Μαρκοπούλου. Εκδηλώνεται το φαινόμενο της αντίστροφης κατιοανταλλαγής. Συγκεκριμένα στην ομάδα αυτή κυριαρχεί το  $\text{Cl}$  και το  $\text{Mg}^{2+}$ . Πρόκειται για νερά όπου το φαινόμενο της αντίστροφης κατιοανταλλαγής βρίσκεται σε πλήρη εξέλιξη. Τα νερά αυτά είναι του υδροχημικού τύπου  $\text{Mg-Cl}$ .
- **Ομάδα 9<sup>ο</sup> Πεδίου:** ανήκουν τα υπόγεια νερά που προέρχονται από τα δυτικά τμήματα της περιοχής. Εκδηλώνεται το φαινόμενο της αντίστροφης κατιοανταλλαγής. Κυριαρχούν τα  $\text{Na}^+$  και τα  $\text{Cl}$  που σημαίνει τελικά νερά πεδίου ροής. Το φαινόμενο της αντίστροφης κατιοανταλλαγής βρίσκεται πλέον στο τελικό στάδιο. Τα νερά αυτά είναι του υδροχημικού τύπου  $\text{Na-Cl}$ .

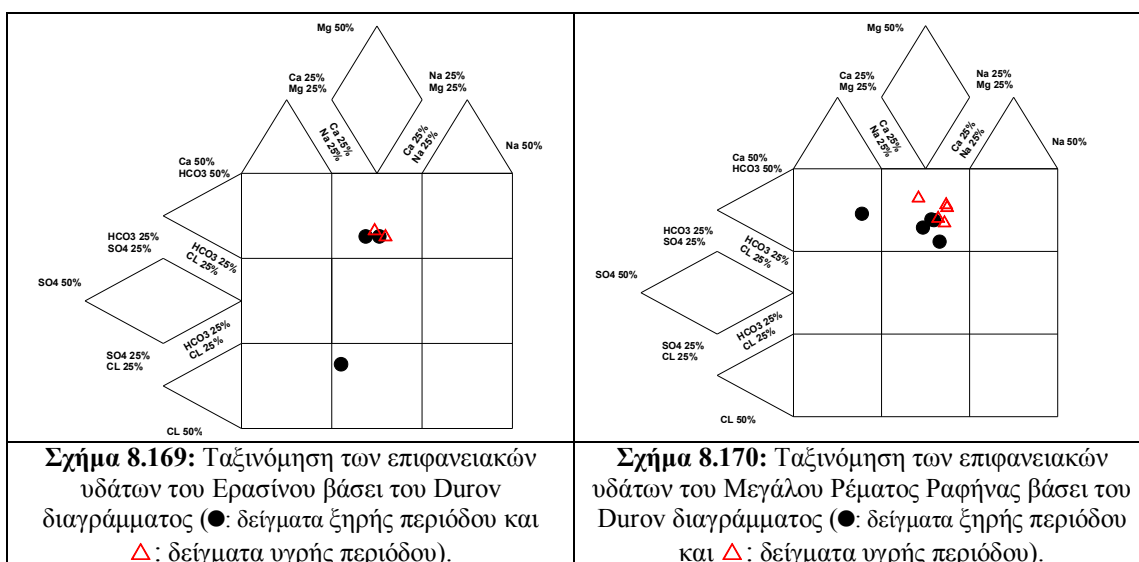
Στον πίνακα 8.32, που ακολουθεί, παρουσιάζονται αναλυτικά οι υδρογεωχημικές κατηγορίες των δειγμάτων της υγρής και ξηρής περιόδου.

#### δ) Επιφανειακά νερά του Ερασίνου και Μεγάλου Ρέματος Ραφήνας

Στα σχήματα 8.169 και 8.170 παρουσιάζονται τα σημεία προβολής των δειγμάτων των υπόγειων νερών που προέρχονται από τους ανθρακικούς σχηματισμούς του Κρητιδικού και Τριαδικού-Ιουρασικού και αφορά τις δειγματοληψίες της ξηρής και της υγρής περιόδου ξεχωριστά. Στην ομάδα αυτή ανήκουν κυρίως οι βαθιές γεωτρήσεις της περιοχής.

**Πίνακας 8.32:** Υδρογεωχημικές κατηγορίες που προκύπτουν για τα υπόγεια νερά των ανθρακικών σχηματισμών κατά Δυγον.

ΔΕΙΓΜΑ	ΥΔΡΟΓΕΩΧΗΜΙΚΗ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ		ΔΕΙΓΜΑ	ΥΔΡΟΓΕΩΧΗΜΙΚΗ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	
	Ξηρή περίοδος	Υγρή περίοδος		Ξηρή περίοδος	Υγρή περίοδος
3	Mg-HCO <sub>3</sub>	Mg-HCO <sub>3</sub>	42	Mg-HCO <sub>3</sub>	Mg-HCO <sub>3</sub>
13	Ca-HCO <sub>3</sub>	Ca-HCO <sub>3</sub>	45	Ca-HCO <sub>3</sub>	Ca-HCO <sub>3</sub>
16	Ca-HCO <sub>3</sub>	Ca-HCO <sub>3</sub>	47	Ca-HCO <sub>3</sub>	Ca-HCO <sub>3</sub>
27	Ca-HCO <sub>3</sub>	Ca-HCO <sub>3</sub>	70	Mg-HCO <sub>3</sub>	Mg-HCO <sub>3</sub>
28	Mg-HCO <sub>3</sub>	Mg-HCO <sub>3</sub>	72	Mg-Cl	Mg-Cl
30	Mg-HCO <sub>3</sub>	Mg-HCO <sub>3</sub>	73	Mg-Cl	Mg-Cl
33	Ca-HCO <sub>3</sub>	Ca-HCO <sub>3</sub>	86	Ca-HCO <sub>3</sub>	Ca-HCO <sub>3</sub>
34	Ca-HCO <sub>3</sub>	Ca-HCO <sub>3</sub>	90	Mg-HCO <sub>3</sub>	Mg-HCO <sub>3</sub>
35	Ca-HCO <sub>3</sub>	Ca-HCO <sub>3</sub>	91	Mg-HCO <sub>3</sub>	Mg-HCO <sub>3</sub>
40	Mg-Cl	Mg-Cl	92	Na-Cl	Mg-HCO <sub>3</sub>



Με βάση το διάγραμμα Δυγον διαπιστώνονται τρεις ομάδες επιφανειακών νερών που εμφανίζονται από τα ανάντη έως τις εκβολές τους:

- **Ομάδα 1<sup>οο</sup> Πεδίου:** εντοπίζονται στα ανάντη της λεκάνης απορροής του Μεγάλου Ρέματος, στον κλάδο Βαλανήρη που προέρχεται από τη διάλυση του μεταμορφωμένου μανδύα της Πεντέλης. Είναι προφανώς φρέσκα νερά, τα οποία δεν έχουν υποστεί ακόμη την επίδραση των άλλων διαφορετικής προέλευσης εισρεόντων νερών. Είναι του υδροχημικού τύπου Ca-HCO<sub>3</sub>.
- **Ομάδα 2<sup>οο</sup> Πεδίου:** εντοπίζονται στα κεντρικά τμήματα ροής και των δυο ρεμάτων. Οι επιφανειακές επιδράσεις που δέχονται οδηγούν στην διαφοροποίηση των ποιοτικών τους χαρακτηριστικών. Τα εισερχόμενα νερά, επιφανειακά ή και υπόγεια μέσω πλευρικής διήθησης διαμορφώνουν τον υδροχημικό τύπο Mg-HCO<sub>3</sub>. Κυρίαρχο ανιόν είναι η οξυανθρακική ρίζα και κατιόν το μαγνήσιο.
- **Ομάδα 8<sup>οο</sup> Πεδίου:** εντοπίζονται στην εκβολή του Ερασίνου την ξηρή περίοδο, λόγω της θαλάσσιας επίδρασης. Στην ομάδα αυτή κυριαρχεί το Cl και το Mg<sup>2+</sup>. Πρόκειται για νερά όπου το φαινόμενο της αντίστροφης κατιοανταλλαγής βρίσκεται σε πλήρη εξέλιξη. Τα νερά αυτά είναι του υδροχημικού τύπου Mg-Cl.

Στον πίνακα 8.33 αποτυπώνονται οι υδρογεωχημικές κατηγορίες Duroν των επιφανειακών υδάτων, κατά ημερομηνία δειγματοληψίας.

**Πίνακας 8.33:** Υδρογεωχημικές κατηγορίες που προκύπτουν κατά Duroν για τα επιφανειακά νερά του Ερασίνου και του Μεγάλου Ρέματος Ραφήνας.

ΔΕΙΓΜΑ	ΜΕΓΑΛΟ ΡΕΜΑ ΡΑΦΗΝΑΣ ΥΔΡΟΓΕΩΧΗΜΙΚΗ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ		ΔΕΙΓΜΑ	ΕΡΑΣΙΝΟΣ ΥΔΡΟΓΕΩΧΗΜΙΚΗ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	
	Ξηρή περίοδος	Υγρή περίοδος		Ξηρή περίοδος	Υγρή περίοδος
Ραφ.1 (Ο)	—	Mg-HCO <sub>3</sub>	Ερ.1 (Ο)	—	Mg-Cl
Ραφ.1 (Ν)	—	Mg-HCO <sub>3</sub>	Ερ.1 (Ν)	—	Mg-Cl
Ραφ.1 (Δ)	—	Mg-HCO <sub>3</sub>	Ερ.1 (Δ)	—	Mg-HCO <sub>3</sub>
Ραφ.1 (Ι)	—	Mg-HCO <sub>3</sub>	Ερ.1 (Ι)	—	Mg-HCO <sub>3</sub>
Ραφ.1 (Φ)	—	Mg-HCO <sub>3</sub>	Ερ.1 (Φ)	—	Mg-HCO <sub>3</sub>
Ραφ.1 (Μ)	—	Mg-HCO <sub>3</sub>	Ερ.1 (Μ)	—	Mg-HCO <sub>3</sub>
Ραφ.1 (Α)	Mg-HCO <sub>3</sub>	—	Ερ.1 (Α)	Mg-HCO <sub>3</sub>	—
Ραφ.1 (Μ)	Mg-HCO <sub>3</sub>	—	Ερ.1 (Μ)	Mg-Cl	—
Ραφ.1 (Ι)	Mg-HCO <sub>3</sub>	—	Ερ.1 (Ι)	ΞΕΡΟ	—
Ραφ.1 (Ι)	Mg-HCO <sub>3</sub>	—	Ερ.1 (Ι)	ΞΕΡΟ	—
Ραφ.1 (Α)	Mg-HCO <sub>3</sub>	—	Ερ.1 (Α)	ΞΕΡΟ	—
Ραφ.1 (Σ)	Mg-HCO <sub>3</sub>	—	Ερ.1 (Σ)	ΞΕΡΟ	—
Ραφ.2	Mg-HCO <sub>3</sub>	Mg-HCO <sub>3</sub>	Ερ.2	Mg-HCO <sub>3</sub>	Mg-HCO <sub>3</sub>
Ραφ.3	Ca-HCO <sub>3</sub>	Mg-HCO <sub>3</sub>	Ερ.3	Mg-HCO <sub>3</sub>	Mg-HCO <sub>3</sub>
Ραφ.4	Mg-HCO <sub>3</sub>	Mg-HCO <sub>3</sub>			
Ραφ.5	Mg-HCO <sub>3</sub>	Mg-HCO <sub>3</sub>			

Απ' το διάγραμμα Duroν λαμβάνουμε σημαντικές πληροφορίες για τη χημική σύνθεση των νερών και την αλλαγή αυτής απ' την ξηρή περίοδο στην υγρή κι αντίστροφα.

Στα ύδατα των ανθρακικών σχηματισμών επικρατούν τα πεδία Νο 2 (κυριαρχία της ρίζας HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> και είτε του Mg<sup>2+</sup> είτε κανενός κατιόντος) και Νο 1 (φρέσκα νερά φυσικής αναπλήρωσης που κατεισδύουν μέσω ανθρακικών πετρωμάτων, κυριαρχία HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> και Ca<sup>2+</sup>) ενώ στα ύδατα των τεταρτογενών και νεογενών σχηματισμών επικρατεί και το πεδίο Νο 8 (κυριαρχία Cl<sup>-</sup> και κανενός κατιόντος). Τα πεδία αυτά φανερώνουν την επιρροή των πετρωμάτων του γεωλογικού υποβάθρου της περιοχής (ασβεστόλιθοι, εβαπορίτες, κλπ) στη χημική σύνθεση των υπογείων υδάτων.

Κατά τη μετάβαση στην υγρή περίοδο τα πεδία παραμένουν ως επί το πλείστον ίδια. Τα δείγματα της παράκτιας ζώνης Νο 2, 15, 21 και 22 μεταβαίνουν απ' τα πεδία 2 και 3 την ξηρή περίοδο στα πεδία 8 και 9 αντίστοιχα την υγρή, κάτι που υποδηλώνει την αύξηση των χλωριόντων λόγω διείσδυσης θαλασσινού νερού. Αντίθετα, τα δείγματα της ενδοχωρικής ζώνης 39 και 89 μεταβαίνουν απ' τα πεδία 8 και 9 την ξηρή περίοδο στα 3 και 2 αντίστοιχα την υγρή, κάτι που δείχνει τον εμπλουτισμό των υδάτων αυτών σε HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> λόγω διάλυσης των πετρωμάτων και ανανέωση με φρέσκο νερό.

Οι πηγές (Νο 3, 71 και 94) παρουσιάζονται κυρίως στο πεδίο 2 (κυριαρχία της ρίζας HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) με εξαίρεση την πηγή που βρίσκεται στην εκβολή του Ερασίνου (94), που ενώ την υγρή περίοδο βρίσκεται στο πεδίο 2, την ξηρή παρουσιάζεται στο πεδίο 8, προφανώς επηρεασμένη απ' την γειτνιαζούσα θάλασσα.

Οι γεωτρήσεις στην πλειοψηφία τους παραμένουν στα ίδια πεδία την ξηρή και υγρή περίοδο με κυρίαρχα πεδία τα Νο 2 και 8. Η σταθερότητα αυτή πιθανόν να οφείλεται στο σχετικά μεγάλο βάθος των γεωτρήσεων που δεν αφήνει το βρόχινο νερό να επηρεάσει τόσο γρήγορα τη χημεία τους.

Τέλος, όπως και στο διάγραμμα Piper έτσι και στο Durov, παρατηρείται διαφοροποίηση στο δείγμα επιφανειακού νερού Ραφ.3 που τροφοδοτείται από τον αποσαθρωμένο μανδύα της Πεντέλης, από περιοχές περιορισμένης χρήσης γης. Τα υπόλοιπα επιφανειακά δείγματα εμφανίζονται τόσο την ξηρή όσο και την υγρή περίοδο στο πεδίο Νο 2 (κυριαρχία της ρίζας  $\text{HCO}_3^-$ ). Διαφοροποίηση παρουσιάζεται και στην εκβολή του ποταμού Ερασίνου τους μήνες Μάιος, Οκτώβριος και Νοέμβριος. Προφανώς οι υψηλότερες θερμοκρασίες σε συνδυασμό με τη χαμηλή παροχή που προκύπτει από τα λιγοστά κατακρημνίσματα συντελούν στην αύξηση των ιόντων χλωρίου στο σημείο που γειτνιάζει με την θάλασσα.

## 8.7 Καταλληλότητα των νερών για διάφορες χρήσεις

### 8.7.1 Γενικά

Το νερό κατέχει εξέχουσα θέση στο περιβάλλον, καθόσον είναι σημαντικός παράγοντας της ανθρώπινης υγείας, της κοινωνικής, πολιτιστικής κι οικονομικής ανάπτυξης. Σημαντικό παράγοντα στις διάφορες ανθρώπινες δραστηριότητες αποτελεί τόσο η ποσότητα, όσο κι η ποιότητα του νερού. Η ποιότητα του νερού καθορίζει και την καταλληλότητα αυτού για διάφορες χρήσεις. Όσον αφορά την ανθρώπινη κατανάλωση έχουν θεσπιστεί από διάφορους οργανισμούς (World Health Organization, Ευρωπαϊκή Ένωση) ανώτατα όρια κατανάλωσης για την προστασία της δημοσίας υγείας. Όσον αφορά τη χρήση για άρδευση, προκειμένου να εξασφαλιστεί η αιεφόρος γεωργία και η καλή ποιότητα του τελικού προϊόντος, η καταλληλότητα του νερού εκτιμάται από τις μεθόδους Richards και Wilcox (Καλλέργης, 1980).

Όσον αφορά τη βιομηχανική και οικιακή χρήση υπάρχουν μόνο βιβλιογραφικές αναφορές για προβληματική χρήση του νερού όταν υπερβαίνονται κάποια όρια. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι το σκληρό νερό είναι ανεπιθύμητο για οικιακή και βιομηχανική χρήση, καθόσον δημιουργεί προβλήματα σε σωληνώσεις κι οικιακές συσκευές, εμποδίζει το βράσιμο των τροφίμων και τη δημιουργία αφρού κατά την πλύση με σαπούνι. Συγκέντρωση θεικών ιόντων μεγαλύτερη των 250 mg/l κάνει τη χρήση του νερού προβληματική ιδιαίτερα για τις βιομηχανίες γάλακτος, πάγου και ζάχαρης. Τέλος, συγκέντρωση ιόντων χλωρίου πάνω από 100mg/l καθιστά το νερό διαβρωτικό κι ανεπιθύμητο στη βιομηχανική χρήση (Καλλέργης, 2000).

### 8.7.2 Καταλληλότητα των υπόγειων νερών για ανθρώπινη κατανάλωση

Η Ευρωπαϊκή Ένωση κι ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας αντιλήφθηκαν την ανάγκη θέσπισης ορίων καταλληλότητας των υδάτων προς ανθρώπινη κατανάλωση. Τα όρια που θέτουν οι δύο οργανισμοί διαφέρουν στην πλειοψηφία των στοιχείων και ιχνοστοιχείων, με τα αυστηρότητα όρια να τίθενται από τον ΠΟΥ. Στην παρούσα εργασία η καταλληλότητα των υπόγειων κι επιφανειακών υδάτων της περιοχής έρευνας εξετάστηκαν βάσει των ορίων ποσιμότητας της E.E. (Οδηγία 80/778/15-7-80).

Τα όρια ποσιμότητας της οδηγίας 80/778/15-7-80 της E.E. παρουσιάζονται στον πίνακα 8.34. Υπενθυμίζεται ότι όταν αυξάνεται η θερμοκρασία πολλαπλασιάζονται τα τυχόν υπάρχοντα σε αυτό μικρόβια κι ευνοείται η ανάπτυξη αλγών με άμεση συνέπεια την εμφάνιση δυσάρεστων οσμών και γεύσεων (Παππά 2001). Το NaCl σε υπερβολικές συγκεντρώσεις προκαλεί υπέρταση και κατακράτηση υγρών, ενώ τιμές Cl<sup>-</sup> μεγαλύτερες των 600mg/l θεωρούνται τοξικές (Καλλέργης, 2000). Συγκεντρώσεις θεικών ιόντων μεγαλύτερες των 500 mg/l προσδίδουν πικρή γεύση στο νερό ενώ μεγαλύτερες των 1000 mg/l του δίνουν καθαρικές ιδιότητες (Καλλέργης, 2000). Η ύπαρξη ελεύθερης αμμωνίας στα επιφανειακά νερά σε συγκεντρώσεις μεγαλύτερες των 0,2ppm δημιουργεί προβλήματα οσμής και γεύσης στο νερό και συμβάλλει στο σχηματισμό νιτροδών στα συστήματα ύδρευσης (Παππά, 2001). Χρόνια κι υπερβολική κατανάλωση ιωδίου μπορεί να οδηγήσει σε εμφάνιση υπερθυρεοειδισμού και υποθυρεοειδισμού. Συγκεντρώσεις φθορίου στο νερό, μεγαλύτερες των 5mg/l το καθιστούν ακατάλληλο προς πόση (Βουδούρης, 2009).

Όσον αφορά τα βαρέα μέταλλα η υπερβολική κατανάλωση σιδήρου μπορεί να οδηγήσει στην ασθένεια της αιμοχρωμάτωσης, η οποία προσβάλλει 1 στους 300 Ευρωπαίους. Επίσης, εξετάζεται από επιστήμονες η υπόθεση να συνδέονται τα υψηλά αποθέματα σιδήρου με χρόνιες ασθένειες όπως ο καρκίνος κι η καρδιακή ανεπάρκεια. Η υπερκατανάλωση Mn συνδέεται με νευρικές διαταραχές και σχιζοφρένεια, ενώ η υπερβολική λήψη Cu προκαλεί βλάβη στο συκώτι και τον εγκέφαλο, ναυτία,

πονοκέφαλους, αυξημένους χτύποι καρδιάς, βλάβη στα νεφρά, αναιμία, τριχόπτωση καθώς και κατάθλιψη, παραισθήσεις, υπερδραστηριότητα, αϋπνία, παράνοια, ψύχωση, σχιζοφρένεια, υπερδιέγερση και απόσπαση απ' την πραγματικότητα. (www.tjclarkinc.com/minerals). Η υπερβολική λήψη Zn θεωρείται τοξική και προκαλεί γαστρικά προβλήματα, ναυτία, ζαλάδες και τάσεις για εμετό. Η υπερβολική λήψη Cd προκαλεί βλάβη στα νεφρά ενώ του Pb πέρα από τα νεφρά προκαλεί και ανωμαλίες στο κεντρικό νευρικό σύστημα. Συνεχής έκθεση σε σκόνη νικελίου μπορεί να προκαλέσει άσθμα και δερματίτιδα, αλλαγή της αρτηριακής πίεσης, του ρυθμού ανάπτυξης, της ανάπτυξης των οστών και γενικά ευαισθησία του ανοσοποιητικού συστήματος (www.tjclarkinc.com/minerals). Η υπερβολική κατανάλωση Co αυξάνει τη χοληστερίνη στο αίμα, με πιθανότητα εμφάνισης αρτηριοσκλήρωσης, καρδιοαγγειακών παθήσεων και καρκινογένεσης. Τέλος, η περίσσεια Χρωμίου μπορεί να οδηγήσει σε μείωση της καλής χοληστερόλης και αύξηση της κακής, σε αρτηριοσκλήρυνση, καρδιακές παθήσεις, μειωμένη ανάπτυξη, παχυσαρκία, ατονία.

**Πίνακας 8.34** Ανώτατα όρια της Οδηγίας 80/778/15-7-80 της Ε.Ε. για τα πόσιμα νερά

Στοιχείο	Ανώτατο παραδεκτό όριο	Ενδεικτική τιμή	Μονάδα μέτρησης
T(θερμοκρασία)	25		°C
EC		400	μS/cm (στους 20°C)
Σκληρότητα		80 – 150	mg/l CaCO <sub>3</sub>
		4,5-8,5	°dH
pH		6,5 - 8,5	
Na <sup>+</sup>		20	mg/l
Cl <sup>-</sup>		25	mg/l
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	250	25	mg/l
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	50		mg/l
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0,5		mg/l
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	6,69	0,4	mg/l
Fe <sub>ολ</sub>	200	50	μg/l
Mn	50	20	μg/l
Cu	100		μg/l
Cd	5		μg/l
Zn	100		μg/l
Pb	50		μg/l
Ni	50		μg/l
Co	-		μg/l
Cr	5		μg/l
Sr	-		μg/l

Η καταλληλότητα των υπόγειων κι επιφανειακών υδάτων της περιοχής έρευνας, βάσει των ορίων ποσιμότητας του πίνακα 8.34 δείχνουν στην πλειοψηφία τους ακατάλληλα νερά προς ανθρώπινη κατανάλωση. Το 100% των επιφανειακών υδάτων είναι ακατάλληλα προς ανθρώπινη κατανάλωση ενώ μόλις το 3,5% των υπόγειων υδάτων ενδείκνυται προς πόση.

Τα υδροσημεία υπόγειων υδάτων με την αιτιολογία απαγόρευσης της χρήσης τους προς πόση παρουσιάζονται στον πίνακα 8.35.

**Πίνακας 8.35:** Ένδειξη καταλληλότητας ή μη των υπόγειων υδάτων προς ανθρώπινη κατανάλωση

Υδροσημείο	ΠΟΣΙΜΟ	Στοιχεία υπέρβασης ορίου ποσιμότητας
2	OXI	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , Cu, Zn, Cd, Pb, Mn
3	OXI	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , Cu, Zn, Cd, Pb, Mn, Ni
4	OXI	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , Zn, Cd, Pb, Ni, Mn, Cr
7	OXI	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , Zn
13	OXI	Cu, Zn, Cd, Pb, Ni, Mn, Cr
14	OXI	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
15	OXI	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , Cd, Pb, Ni, Mn, Cr
16	OXI	Fe, Cu, Zn, Cd, Pb, Ni, Mn, Cr
17	OXI	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , Cu, Cd, Pb, Ni, Mn
18	OXI	Cu, Zn, Cd, Pb, Ni, Mn, Cr
19	OXI	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , Cd, Pb, Ni, Mn
20	OXI	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , Fe, Cd, Mn, Cr
21	OXI	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , Zn, Cd, Pb, Ni, Mn
22	OXI	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , Zn, Cd, Pb, Ni, Mn
23	OXI	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , Cu, Zn, Cd, Mn
24	OXI	Fe, Cu, Zn, Cd, Pb, Ni, Mn, Cr
25	OXI	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , Zn
26	OXI	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , Zn, Cd, Pb, Ni, Mn, Cr
27	NAI	-
28	OXI	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , Cd, Pb, Ni, Mn, Cr
29	OXI	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
30	OXI	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , Zn, Cd, Pb, Mn, Cr
31	OXI	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , Zn
32	OXI	Zn, Cd, Pb, Mn, Cr
33	OXI	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , Cr
34	OXI	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , Zn, Cd, Pb, Ni, Mn, Cr
35	OXI	Cd, Pb, Ni, Mn, Cr
36	OXI	Zn
37	OXI	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
38	OXI	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , Zn
39	OXI	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
40	OXI	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
41	NAI	-
42	NAI	-
43	OXI	Fe, Zn, Cd, Ni, Mn, Cr
44	OXI	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
45	OXI	Fe, Cu, Cd, Pb, Ni, Mn, Cr
46	OXI	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , Cu, Cd, Pb, Ni, Mn, Cr
47	OXI	Cu, Cd, Pb, Ni, Mn, Cr
48	OXI	Fe, Cu, Cd, Pb, Ni, Mn
49	OXI	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , Cu, Cd, Pb, Ni, Mn, Cr
50	OXI	Cu, Cd, Pb, Ni, Mn
51	OXI	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , Cu, Cd, Ni, Mn
52	OXI	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , Fe, Cu, Zn, Cd, Pb, Ni, Mn
53	OXI	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , Fe, Zn, Cd, Pb, Ni, Mn, Cr
54	OXI	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , Cd, Pb, Ni, Mn



Πίνακας 8.35 συνέχεια

Υδροσημείο	ΠΟΣΙΜΟ	Στοιχεία υπέρβασης ορίου ποσιμότητας
55	OXI	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , Cu, Zn, Cd, Pb, Ni, Mn
56	OXI	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , Cu, Cd, Pb, Ni, Mn
57	OXI	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , Fe, Cu, Cd, Pb, Ni, Mn, Cr
58	OXI	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , Cd, Pb, Ni, Cr
59	OXI	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
60	OXI	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , Zn, Cd, Pb, Ni, Mn, Cr
61	OXI	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , Cu, Cd, Ni, Mn, Cr
62	OXI	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , Cu, Zn, Cd, Pb, Ni, Mn, Cr
63	OXI	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , Zn
64	OXI	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , Fe, Zn, Ni
65	OXI	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , Cr
66	OXI	Cu, Cd, Pb, Ni, Mn
67	OXI	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , Zn, Ni
68	OXI	Cu, Cd, Ni, Mn
69	OXI	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , Zn
70	OXI	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , Zn, Cd, Pb, Ni, Cr
71	OXI	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , Fe, Cu, Cd, Pb, Ni, Cr
72	OXI	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , Zn, Cd, Pb, Ni, Mn
73	OXI	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , Cd, Pb, Ni, Mn, Cr
74	OXI	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , Zn
75	OXI	Cu, Zn, Cd, Pb, Mn
76	OXI	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , Zn
77	OXI	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
80	OXI	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , Zn, Cd, Pb, Ni, Mn, Cr
81	OXI	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
82	OXI	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , Cr
83	OXI	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
84	OXI	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , Zn
85	OXI	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , Zn
86	OXI	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
87	OXI	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
88	OXI	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , Zn, Mn
89	OXI	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , Zn
90	OXI	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , Zn, Cd, Pb, Ni, Mn
91	OXI	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , Cu, Zn, Cd, Pb, Ni, Mn, Cr
92	OXI	Cu, Zn, Cd, Pb, Ni, Mn, Cr
93	OXI	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , Cu, Cd, Pb, Ni, Mn, Cr
94	OXI	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , Cu, Zn, Cd, Pb, Mn, Cr
95	OXI	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
96	OXI	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>

### 8.7.3 Καταλληλότητα για άρδευση

Το βασικότερο πρόβλημα που παρουσιάζουν τα νερά άρδευσης είναι η αλατότητα. Τα διαλυτά άλατα που υπάρχουν σε αυτά συσσωρεύονται στο ριζόστρωμα και προκαλούν ανάσχεση της ανάπτυξης και μείωση της απόδοσης των καλλιεργούμενων φυτών. Η αύξηση της οσμωτικής πίεσης που προκαλείται απ' τη συσσώρευση αλάτων στο ριζόστρωμα έχει σαν επακόλουθο την ελάττωση της διαθέσιμης ποσότητας νερού για τα φυτά.

Οι καλλιεργητικοί χειρισμοί που αποβλέπουν στη δημιουργία καλού αερισμού και καλού στραγγιστικού δικτύου, κάνουν εφικτή την άρδευση με νερό υψηλής αλατότητας. Αντίθετα, σε κακώς στραγγιζόμενα εδάφη, τα άλατα απ' τη χρήση ενός πλούσιου σε άλατα νερού, συσσωρεύονται στο ριζόστρωμα δημιουργώντας τοξικότητες σ' αυτήν τη ζώνη. Επιπλέον, η άρδευση με νερό πλούσιο σε άλατα δημιουργεί κρούστα στο έδαφος που επιβαρύνει τη δομή και τον αερισμό του (Μαλεφάκης 1998).

Οι συνηθέστερες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση της καταλληλότητας ενός νερού για άρδευση είναι η μέθοδος Richards και η μέθοδος Wilcox (Καλλέργης, 1980). Ωστόσο δεν υπάρχουν θεσμοθετημένα όρια καταλληλότητας για τη γεωργική χρήση του νερού.

#### 8.7.3.1 Ταξινόμηση κατά Richards

Με τη μέθοδο αυτή υπολογίζεται ο συντελεστής προσρόφησης Νατρίου SAR (Sodium Absorption Ratio) βάση της πιο κάτω σχέσης :

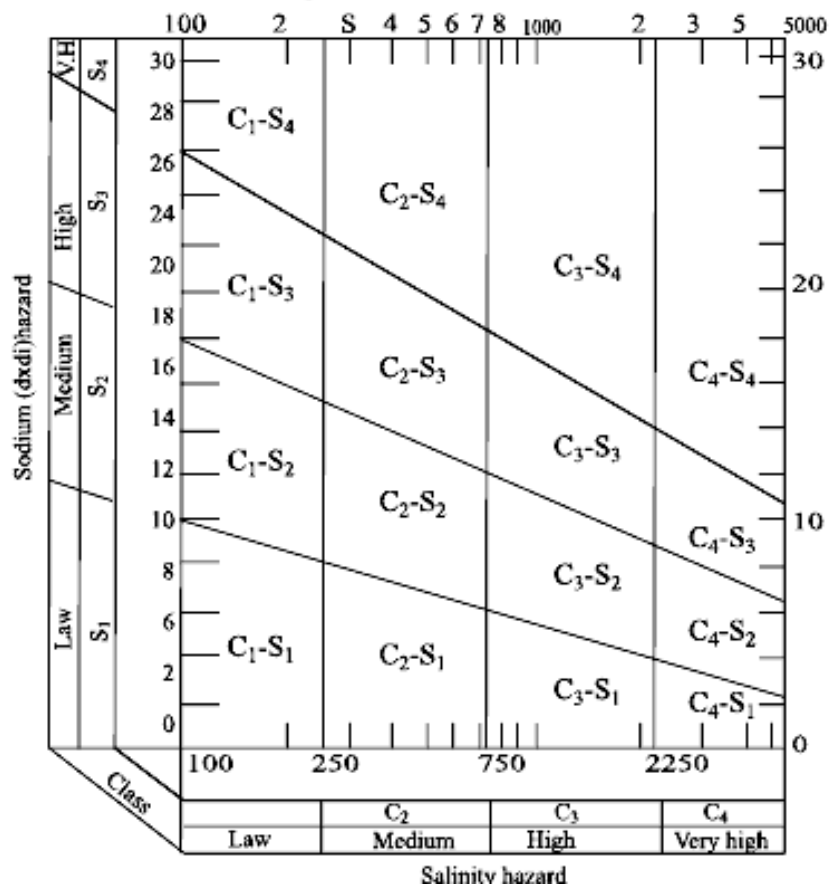
$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}}$$

Οι συγκεντρώσεις των Na, Ca και Mg εκφράζονται σε meq/l (Richards 1954, Καλλέργης 1980).

Η ποιοτική ταξινόμηση γίνεται σύμφωνα με το Σύστημα Ταξινόμησης του Richards με το οποίο τα νερά κατατάσσονται σε 16 κατηγορίες με διαφορετικά ποιοτικά χαρακτηριστικά και διαφορετική καταλληλότητα για άρδευση καλλιεργειών. Το Σύστημα Ταξινόμησης του Richards ακολουθείται απ' το Αμερικάνικο Υπουργείο Γεωργίας. Η ταξινόμηση απεικονίζεται στο ημιλογαριθμικό διάγραμμα του σχήματος 8.171 στο οποίο απεικονίζονται οι τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και το ποσοστό του προσροφημένου νατρίου του αρδευτικού νερού.

Οι κατηγορίες καταλληλότητας των αρδευτικών υδάτων κατά Richards φαίνονται αναλυτικά στον πίνακα 8.36. Σύμφωνα με την κατάταξη αυτή υπάρχουν 16 ποιοτικές κατηγορίες νερού (C<sub>1</sub>-S<sub>1</sub>, C<sub>1</sub>-S<sub>2</sub>, C<sub>2</sub>-S<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>-S<sub>2</sub> κλπ) οι οποίες δείχνουν κατά πόσο τα αρδευόμενα νερά μπορεί να προκαλέσουν αλάτωση στο έδαφος.

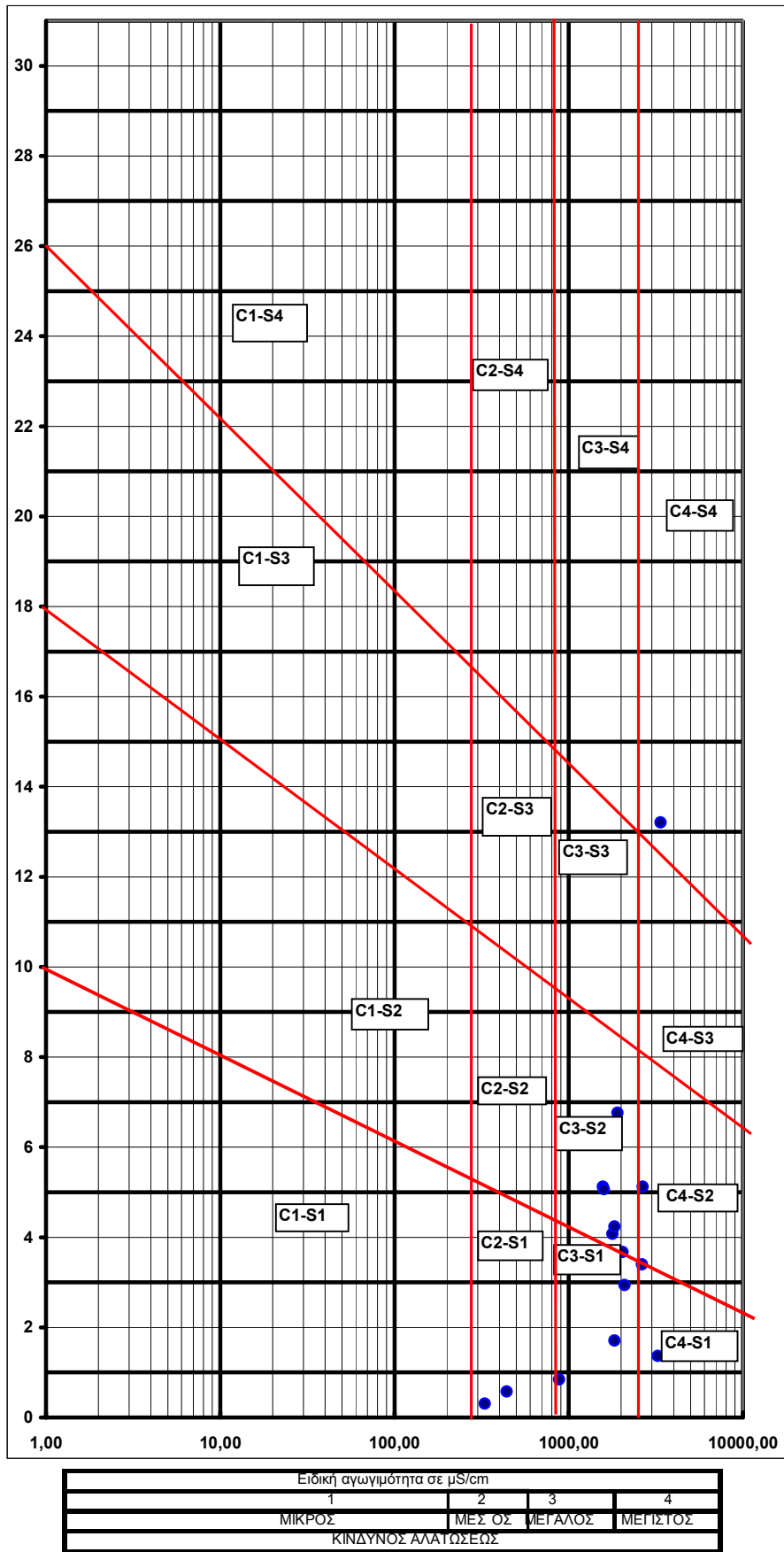
Με βάση τις τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας που μετρήθηκαν στα νερά της περιοχής και του αντίστοιχου συντελεστή προσρόφησης Νατρίου (δείκτη SAR) που υπολογίστηκε, προέκυψαν οι κατηγορίες αρδευτικού νερού, όπως φαίνονται στα σχήματα 8.172 – 8.174 (Αλεξιάκης, 2002) καθώς και στους πίνακες 8.37-8.39, βάσει της λιθολογικής ταξινόμησής τους και στο σχήμα 8.175 και στον πίνακα 8.40 για τα επιφανειακά ύδατα.



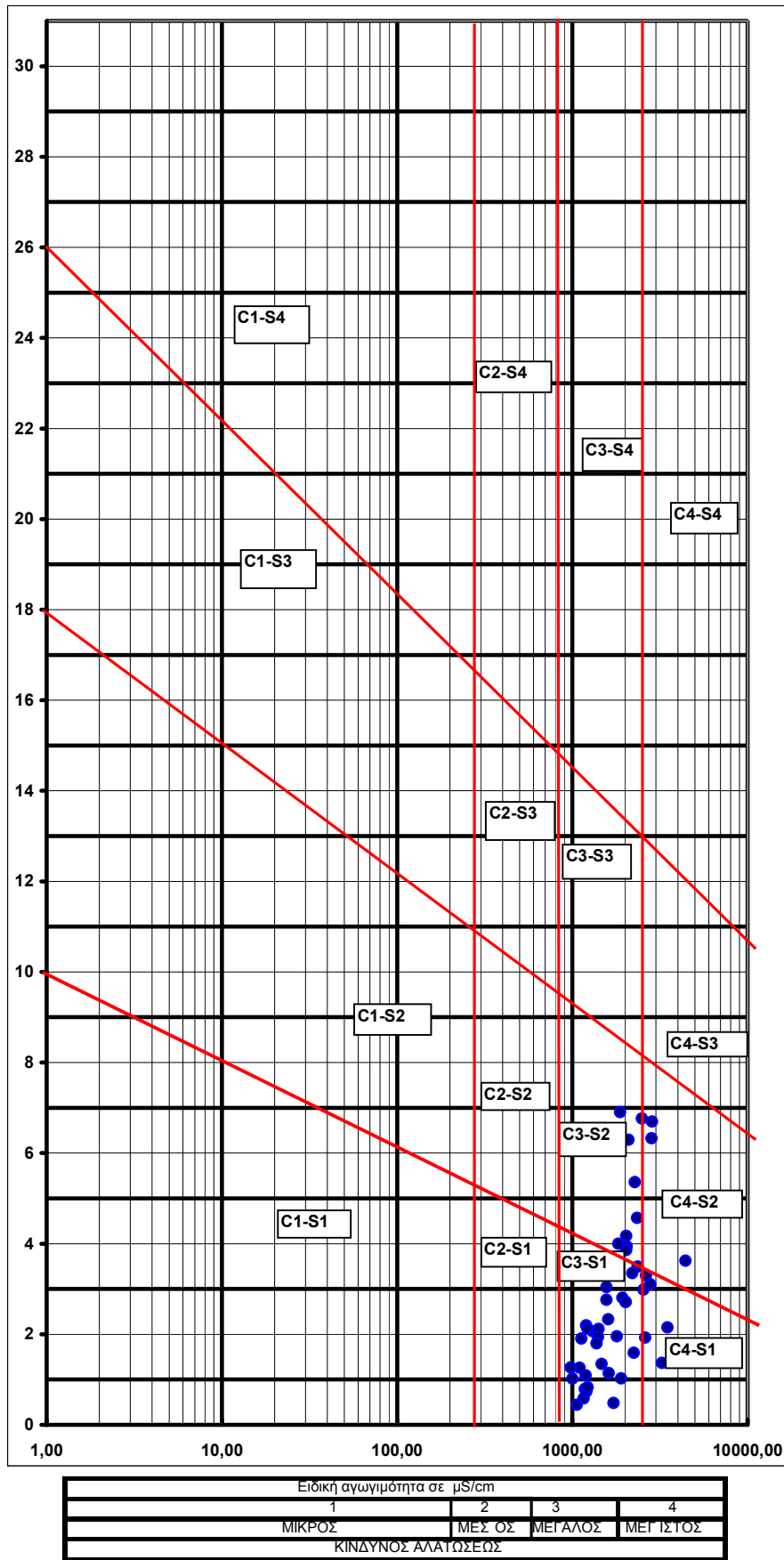
Σχήμα 8.171: Ταξινόμηση της καταλληλότητας του αρδευτικού νερού κατά Richards (1954)

Πίνακας 8.36 : Κατηγορίες αρδευτικών υδάτων και η καταλληλότητα τους κατά Richards (1954)

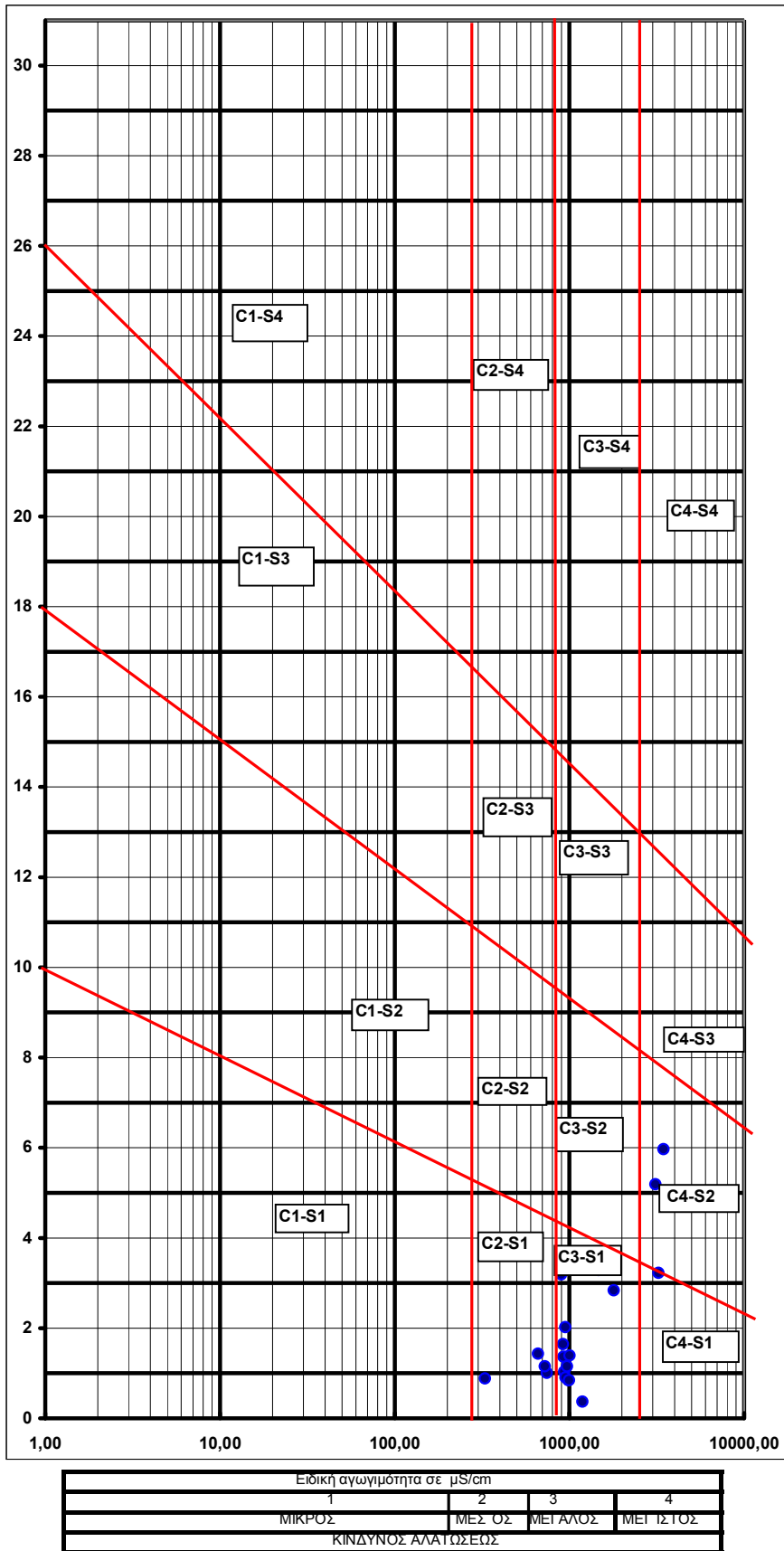
Κατηγορία νερού	Καταλληλότητα για άρδευση
1 C1-S1	Νερό πολύ καλής ποιότητας με χαμηλή περιεκτικότητα σε άλατα. Κατάλληλο για άρδευση.
2 C1-S2, C2-S1	Νερό καλής ποιότητας. Κατάλληλο για άρδευση καλλιεργειών με εξαίρεση φυτά εξαιρετικά ευαίσθητα στα άλατα ή εδάφη με κακή στράγγιση.
3 C2-S2, C1-S3, C3-S1	Νερό μέσης ποιότητας που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για άρδευση με περιορισμούς.
4 C1-S4, C2-S3, C3-S2, C4-S1	Νερό μέσης προς κακής ποιότητας. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για άρδευση ανθεκτικών σε άλατα φυτών και σε καλά στραγγιζόμενα εδάφη.
5 C2-S4, C4-S2, C3-S3	Νερό κακής ποιότητας. Δεν συνίσταται η χρήση του για αρδευτικούς σκοπούς. Παρόλα αυτά μπορεί να χρησιμοποιηθεί για άρδευση με αυστηρούς περιορισμούς σε καλά στραγγιζόμενα εδάφη και φυτά ανθεκτικά στα άλατα. Κίνδυνος αύξησης της αλατότητας του εδάφους γι αυτό συνίσταται η περιοδική έκπλυση των αλάτων.
6 C3-S4, C4-S3	Νερό κακής ποιότητας που δεν συνίσταται η χρήση του. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για άρδευση σε εξαιρετικές περιπτώσεις κάτω από πολλούς περιορισμούς.
7 C4-S4	Νερό πολύ κακής ποιότητας. Η εφαρμογή του για άρδευση καθίσταται απαγορευτική.



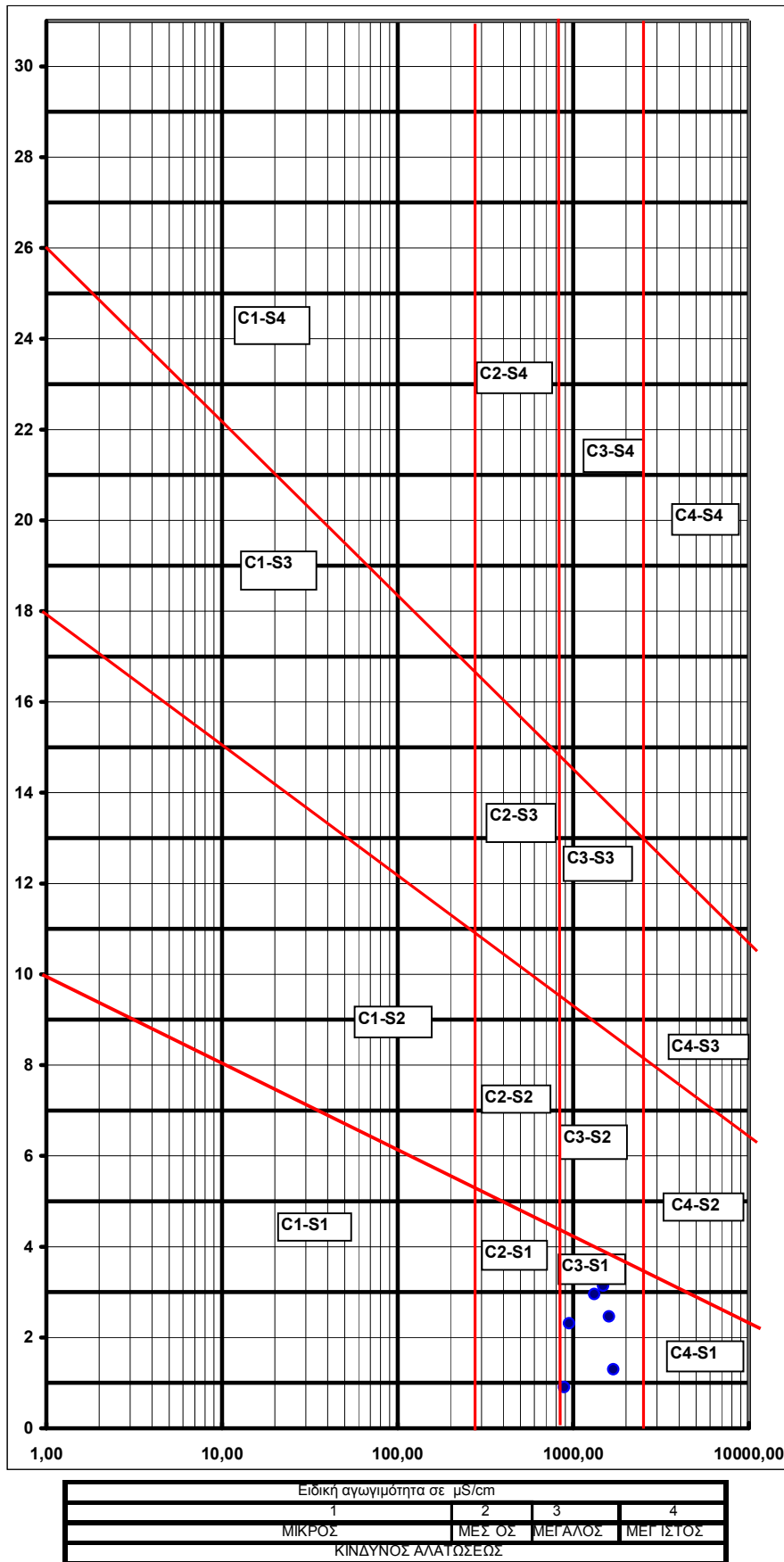
Σχήμα 8.172: Ταξινόμηση της καταλληλότητας των υδάτων των τεταρτογενών σχηματισμών κατά Richards



Σχήμα 8.173: Ταξινόμηση της καταλληλότητας των υδάτων των νεογενών σχηματισμών κατά Richards



Σχήμα 8.174: Ταξινόμηση της καταλληλότητας των υδάτων των ανθρακικών σχηματισμών κατά Richards



Σχήμα 8.175: Ταξινόμηση της καταλληλότητας των επιφανειακών υδάτων κατά Richards



**Πίνακας 8.37:** Ταξινόμηση υδάτων νεογενών σχηματισμών της περιοχής κατά Richards και Wilcox

No	SAR	EC	Κατηγορία Richards		%Na	Κατηγορία Wilcox
2	3,674	2034	C3-S1	3	4,33	4
7	3,4	2635	C4-S1	4	3,41	4
14	5,123	2655	C4-S2	5	3,71	4
15	6,765	1905	C3-S2	4	5,14	2
17	5,121	1573	C3-S2	4	5,69	2
22	13,21	3363	C4-S4	7	3,19	5
24	0,307	330	C2-S1	2	42,36	1
25	4,074	1782	C3-S1	3	4,76	2
29	1,708	1833	C3-S1	3	8,98	2
46	0,575	440	C2-S1	2	15,4	1
58	1,366	3250	C4-S1	4	3,19	5
71	0,843	880	C3-S1	3	6,54	2
87	4,239	1834	C3-S1	3	4,87	2
88	5,066	1595	C3-S2	4	5,1	2
94	2,941	2091	C3-S1	3	4,64	4

**Πίνακας 8.38:** Ταξινόμηση υδάτων νεογενών σχηματισμών της περιοχής κατά Richards

No	SAR	EC	Κατηγορία Richards		%Na	Κατηγορία Wilcox
4	3,492	2358	C4-S1	4	3,86	4
18	3,37	1205	C3-S1	3	8,32	2
19	6,906	1872	C3-S2	4	5,26	2
20	4,569	2340	C4-S2	5	6,27	4
21	6,294	2094	C3-S2	4	4,63	4
23	3,297	2630	C4-S1	4	6,86	4
26	2,331	1601	C3-S1	3	5,34	2
31	2,196	1201	C3-S1	3	9,66	2
32	0,79	1180	C3-S1	3	13,84	2
36	0,583	1162	C3-S1	3	14,45	2
37	1,017	1003	C3-S1	3	7,82	2
38	0,733	1205	C3-S1	3	6,78	2
39	2,982	2542	C4-S1	4	4,26	4
41	6,698	2847	C4-S2	5	3,41	4
43	2,805	1932	C3-S1	3	8,69	2
44	3,308	1833	C3-S1	3	5,31	2
48	2,067	1303	C3-S1	3	11,82	2
49	1,027	1898	C3-S1	3	9,36	2
50	1,26	1101	C3-S1	3	12,75	2
51	0,481	1719	C3-S1	3	9,52	2
52	0,44	1061	C3-S1	3	13,79	2
53	1,591	2240	C3-S1	3	7,4	4
54	3,623	4430	C4-S2	5	4,34	5
55	3,336	1805	C3-S1	3	4,13	2
56	1,345	1469	C3-S1	3	9,48	2
57	1,928	2610	C4-S1	4	4,14	4
59	2,148	3490	C4-S1	4	2,54	5
60	1,954	1797	C3-S1	3	4,51	2
61	1,142	1612	C3-S1	3	5,64	2
62	2,118	1414	C3-S1	3	5,63	2
63	2,715	2020	C3-S1	3	6,17	4
64	3,1	2790	C4-S1	4	6,6	4
65	6,764	2497	C4-S2	5	3,97	4
66	0,828	1225	C3-S1	3	12,68	2

No	SAR	EC	Κατηγορία Richards		%Na	Κατηγορία Wilcox
67	5,408	3133	C4-S2	5	3,07	5
68	1,268	981	C3-S1	3	17,55	2
69	2,762	1565	C3-S1	3	5,1	2
74	2,122	1220	C3-S1	3	6,54	2
75	1,903	1127	C3-S1	3	7,16	2
76	6,328	2830	C4-S2	5	3,31	4
77	4,168	2028	C3-S1	3	4,07	4
80	1,937	1403	C3-S1	3	5,65	2
81	5,356	2275	C4-S2	5	4,04	4
82	3,347	2200	C3-S1	3	3,81	4
83	3,942	2044	C3-S1	3	4,46	4
84	3,857	2031	C3-S1	3	4,16	4
85	3,997	1834	C3-S1	3	4,8	2
89	1,8	1378	C3-S1	3	5,76	2
93	1,09	1192	C3-S1	3	6,55	2
95	2,708	2017	C3-S1	3	4,68	4
96	3,038	1568	C3-S1	3	5,69	2

**Πίνακας 8.39:** Ταξινόμηση υδάτων ανθρακικών σχηματισμών της περιοχής κατά Richards

No	SAR	EC	Κατηγορία Richards		%Na	Κατηγορία Wilcox
3	2,836	1795	C3-S1	3	4,92	2
13	1,365	925,3	C3-S1	3	8,57	2
16	1,007	743	C2-S1	2	23,33	1
27	0,885	329,3	C2-S1	2	24,5	1
28	1,643	920	C3-S1	3	6,12	2
30	1,035	936	C3-S1	3	10,24	2
33	0,843	987	C3-S1	3	8,57	2
34	2,019	947,3	C3-S1	3	8,25	2
35	0,908	951	C3-S1	3	17,17	2
40	3,227	3240	C4-S1	4	2,85	5
42	1,396	1002	C3-S1	3	7,9	2
45	0,848	997	C3-S1	3	8,71	2
47	1,153	722,5	C2-S1	2	13,25	1
70	3,286	1470	C3-S1	3	5,65	2
72	5,19	3105	C4-S2	5	2,9	5
73	5,967	3458	C4-S2	5	2,73	5
86	1,156	970,8	C3-S1	3	8,74	2
90	1,435	661,5	C2-S1	2	12,07	1
91	0,37	1188	C3-S1	3	5,69	2
92	3,193	897	C3-S1	3	7,08	2

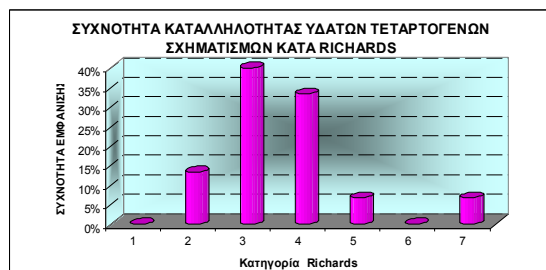
Η συχνότητα εμφάνισης των διαφόρων κατηγοριών αρδευτικής καταλληλότητας που προκύπτει για τα νερά της περιοχής έρευνας βάσει της λιθολογικής τους σύστασης αποτυπώνεται στα ακόλουθα ιστογράμματα (σχήματα 8.176- 8.178). Σ' αυτά φαίνεται η επικράτηση νερών μέσης ποιότητας που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για άρδευση με περιορισμούς (κατηγορία C<sub>3</sub>-S<sub>1</sub>).

**Πίνακας 8.40:** Ταξινόμηση επιφανειακών υδάτων της περιοχής κατά Richards

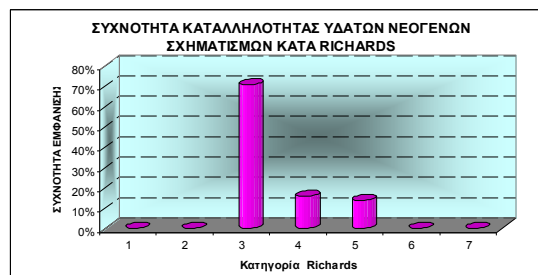
No	SAR	EC	Κατηγορία Richards	%Na	Κατηγορία Wilcox
Ερ.1	3,141	1481	C3-S1	3	4,92
Ερ.2	2,462	1595	C3-S1	3	5,19
Ερ.3	1,3	1691	C3-S1	3	10,95
Ραφ.1	3,713	1473	C3-S1	3	5,67
Ραφ.2	3,349	1344	C3-S1	3	5,97
Ραφ.3	0,905	887	C3-S1	3	12,01
Ραφ.4	2,956	1319	C3-S1	3	6,25
Ραφ.5	2,313	947,3	C3-S1	3	8,35

Τα ύδατα των τεταρτογενών σχηματισμών είναι τα μοναδικά που εμφανίζονται στην κατηγορία 7 (ύδατα κακής ποιότητας για άρδευση) σε ποσοστό 5% ενώ τα ύδατα των ανθρακικών σχηματισμών παρουσιάζουν τα μικρότερα ποσοστά στις κατηγορίες 4 και 5 (μέσης και κακής ποιότητας) και το μεγαλύτερο ποσοστό (σχεδόν 20%) στην κατηγορία 2, καλής ποιότητας υδάτων για άρδευση (σχήματα 8.176-8.178).

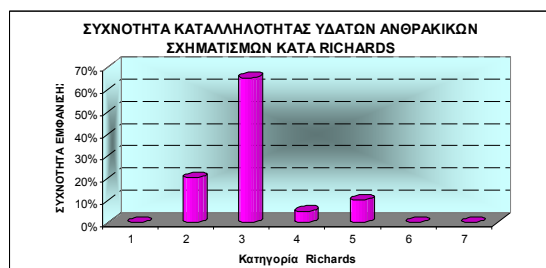
Τα επιφανειακά ύδατα της περιοχής, του Μεγάλου Ρέματος και του Ερασίνου ανήκουν εξ ολοκλήρου στην κατηγορία 3 (μέσης ποιότητας ύδατα που ενδείκνυνται για άρδευση υπό περιορισμούς – σχήμα 8.179).



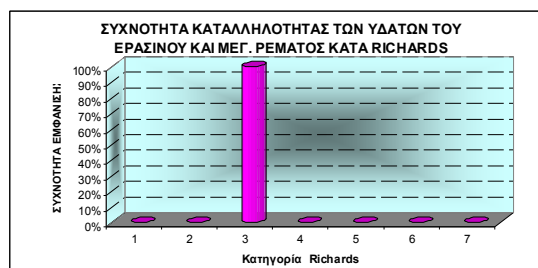
**Σχήμα 8.176:** Συχνότητα καταλληλότητας υδάτων τεταρτογενών σχηματισμών της περιοχής κατά Richards



**Σχήμα 8.177:** Συχνότητα καταλληλότητας υδάτων νεογενών σχηματισμών της περιοχής κατά Richards



**Σχήμα 8.178:** Συχνότητα καταλληλότητας υδάτων ανθρακικών σχηματισμών της περιοχής κατά Richards



**Σχήμα 8.179:** Συχνότητα καταλληλότητας επιφανειακών υδάτων της περιοχής κατά Richards

Η χωρική κατανομή της καταλληλότητας για άρδευση κατά Richards δείχνει τις παραλιακές περιοχές Ραφήνα, Λούτσα, Βραυρόνα και Μαρκόπουλο να έχουν κακής ποιότητας νερό, ακατάλληλο για άρδευση. Κακής ποιότητας αρδευτικό νερό έχει και το Κορωπί, η ευρύτερη περιοχή της Παλλήνης (σχήμα 8.189) που αποδίδεται στη διάλυση των εβαποριτών του γεωλογικού υποβάθρου (Stamatis et al., 2006).

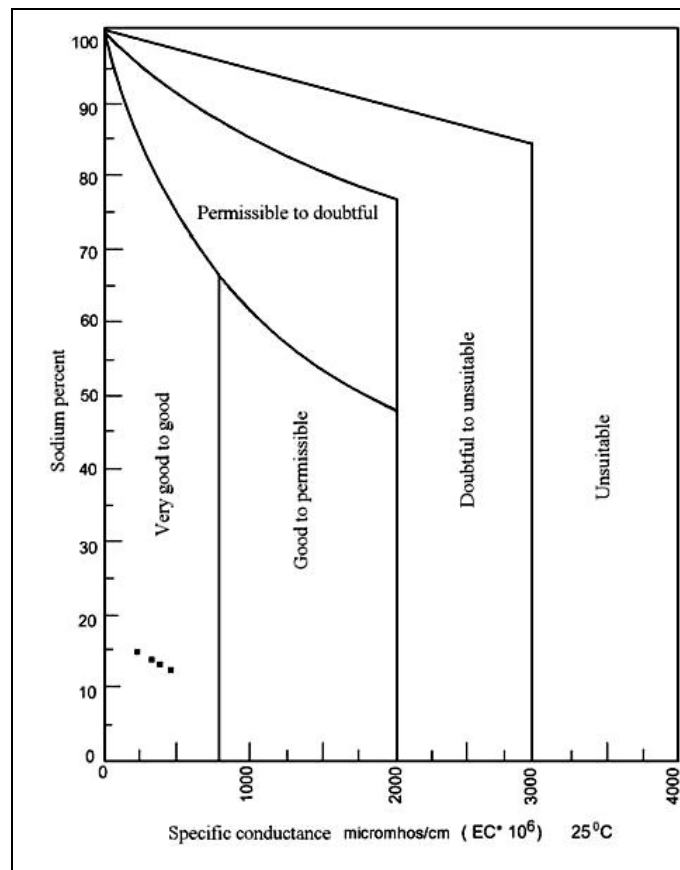
### 8.7.3.2 Ταξινόμηση κατά Wilcox

Η μέθοδος αυτή υπολογίζει την ποσοστιαία περιεκτικότητα Νατρίου(%) επί του συνόλου των κατιόντων σύμφωνα με τη σχέση:

$$\%Na = \frac{(Na + K) \cdot 100}{Ca + Mg + Na + K}$$

Όλες οι συγκεντρώσεις των ιόντων εκφράζονται σε meq/l.

Σύμφωνα με το Σύστημα Ταξινόμησης του Wilcox τα νερά κατατάσσονται σε 5 κατηγορίες με διαφορετική καταλληλότητα για άρδευση καλλιεργειών (Wilcox 1955, Καλλέργης 1980). Το διάγραμμα ταξινόμησης στο οποίο είναι τοποθετημένες οι τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας σε  $\mu S/cm$  και του %Na φαίνεται στο σχήμα 8.188.



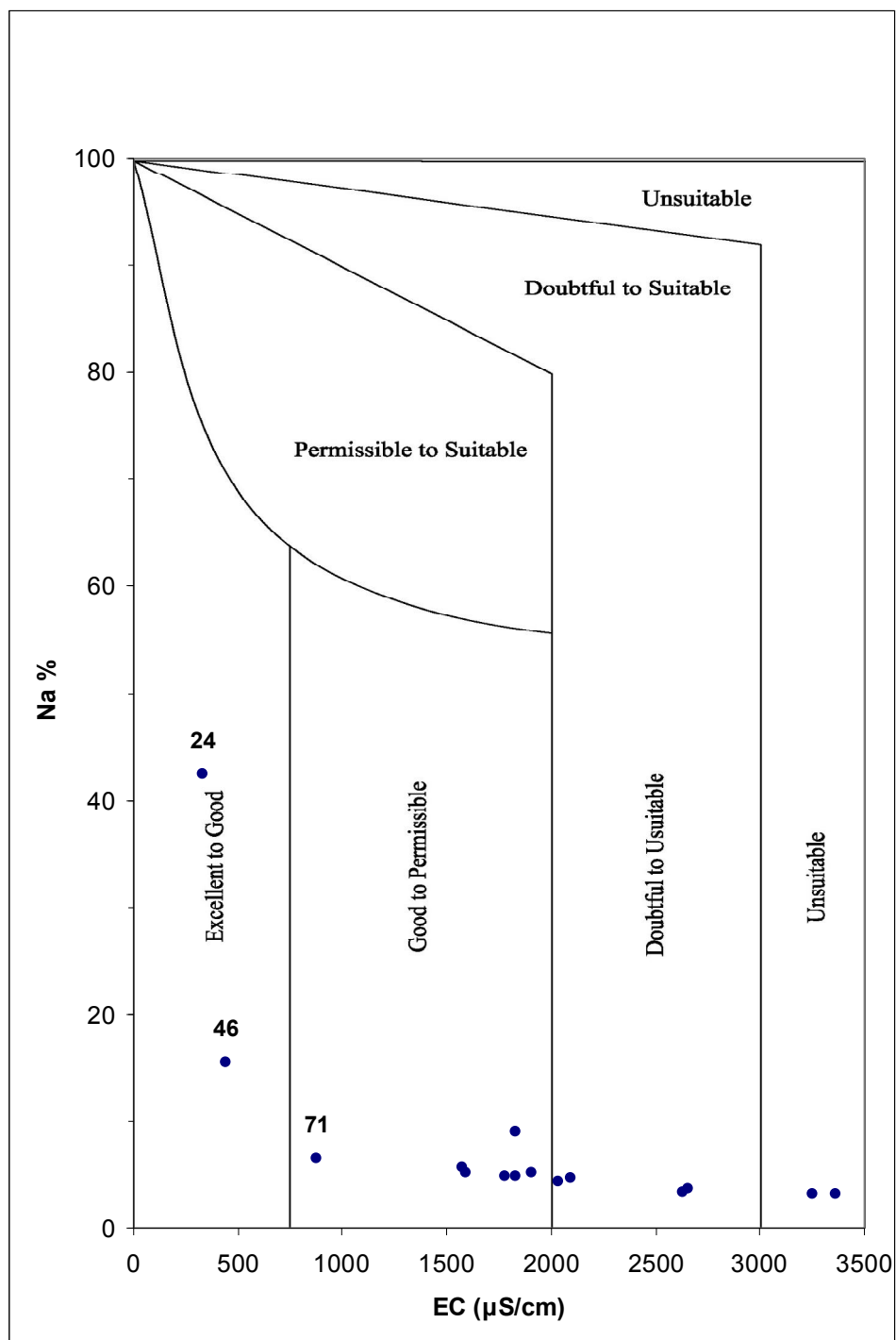
Σχήμα 8.180: Ταξινόμηση της καταλληλότητας του αρδευτικού νερού κατά Wilcox.

Σύμφωνα με την κατάταξη του Wilcox υπάρχουν 5 ποιοτικές κατηγορίες νερού οι οποίες δείχνουν την καταλληλότητα των υδάτων για άρδευση. Οι κατηγορίες αυτές φαίνονται στον πίνακα 8.41.

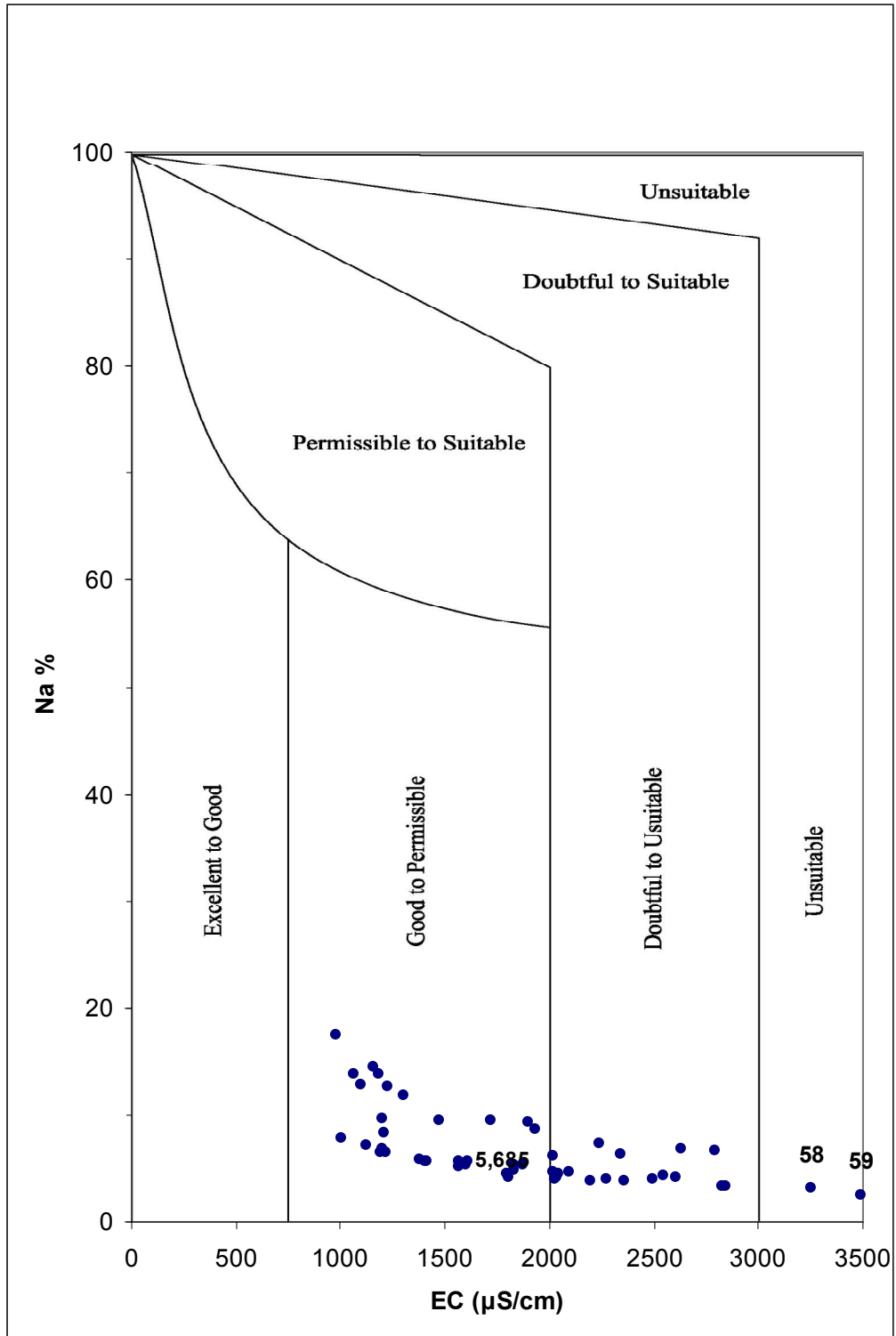
Με βάση τις τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας που μετρήθηκαν και του αντίστοιχου ποσοστού Νατρίου (%Na) που υπολογίστηκε, προέκυψαν οι κατηγορίες αρδευτικού νερού, όπως αποτυπώνονται μαζί με τις κατηγορίες Richards στους πίνακες 8.37-8.40, καθώς και στα σχήματα 8.181 έως 8.182 (Αλεξιάκης, 2002), ανάλογα την προέλευσή τους από τους λιθολογικούς σχηματισμούς.

**Πίνακας 8.41:** Κατηγορίες αρδευτικών υδάτων και η καταλληλότητά τους (Wilcox, 1955)

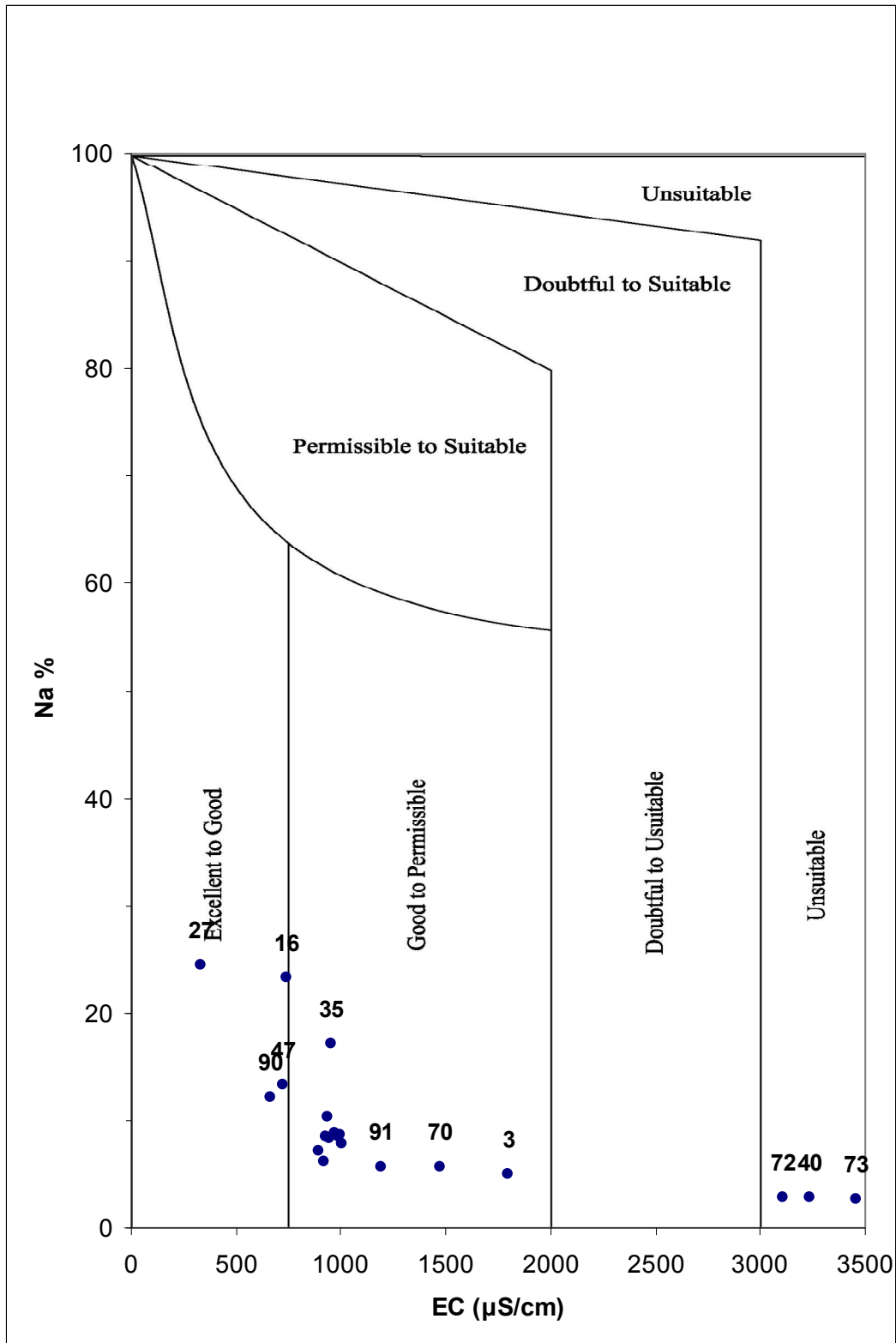
<i><b>ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ</b></i>	<i><b>ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ</b></i>
1	Εξαιρετικό μέχρι καλό
2	Καλό μέχρι αποδεκτό
3	Αποδεκτό μέχρι αμφίβολο
4	Αμφίβολο μέχρι ακατάλληλο
5	Ακατάλληλο



**Σχήμα 8.181:** Ταξινόμηση της καταλληλότητας των υδάτων των τεταρτογενών σχηματισμών κατά Wilcox

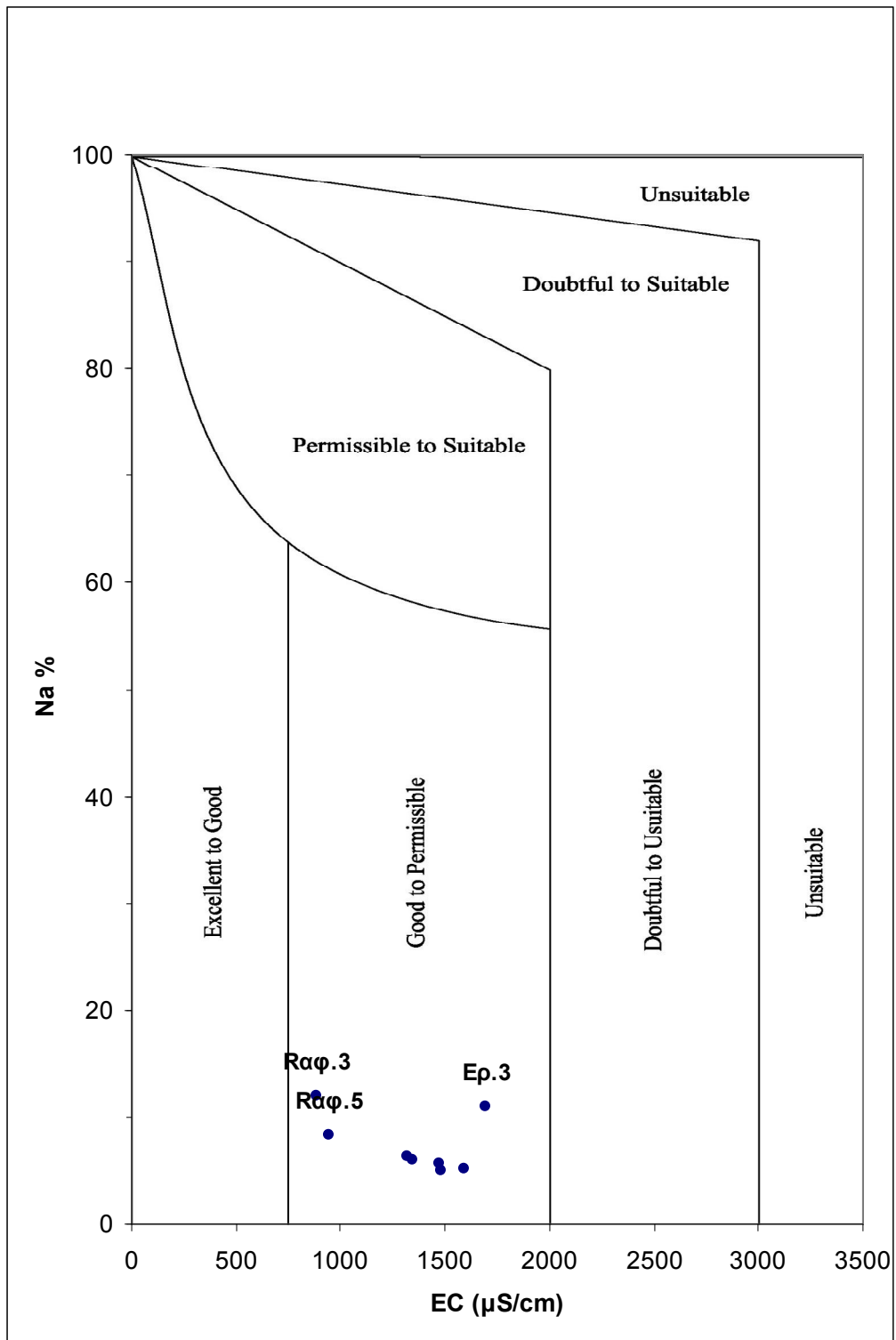


Σχήμα 8.182: Ταξινόμηση της καταλληλότητας των υδάτων των νεογενών σχηματισμών κατά Wilcox



Σχήμα 8.183: Ταξινόμηση της καταλληλότητας των υδάτων των ανθρακικών σχηματισμών κατά Wilcox





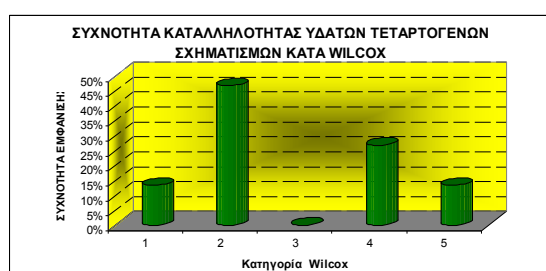
Σχήμα 8.184: Ταξινόμηση της καταλληλότητας των επιφανειακών υδάτων κατά Wilcox

Η συχνότητα εμφάνισης των διαφόρων κατηγοριών αρδευτικής καταλληλότητας που προκύπτει κατά Wilcox για τα νερά της περιοχής έρευνας αποτυπώνεται στα ιστογράμματα των σχημάτων 8.185-8.188, όπου φαίνεται η υπεροχή της κατηγορίας 2 (καλό μέχρι αποδεκτό αρδευτικό νερό σε όλα τα υπόγεια και επιφανειακά ύδατα).

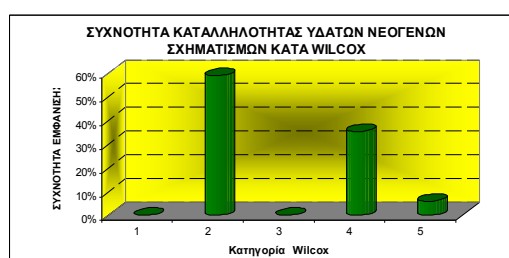
Μεγάλο ποσοστό των υπόγειων νερών των τεταρτογενών σχηματισμών ανήκει στα αμφίβολα έως ακατάλληλα νερά, κατηγορία 4 που αθροιστικά με το 10% των εντελώς ακατάλληλων νερών (κατηγορία 5) καθιστούν προβληματική τη χρήση αυτών για άρδευση.

Μεγάλο ποσοστό στις κατηγορίες 4 και 5 παρουσιάζουν και τα ύδατα των νεογενών σχηματισμών ενώ τα ύδατα των ανθρακικών σχηματισμών παρουσιάζουν την καλύτερη ποιότητα. Η κατηγορία 1 (εξαιρετικά μέχρι καλά ύδατα για άρδευση) παρατηρείται στα ύδατα των ανθρακικών σχηματισμών στο μεγαλύτερο ποσοστό (≈20%) ενώ οι κατηγορίες 4 και 5 στα μικρότερα ποσοστά.

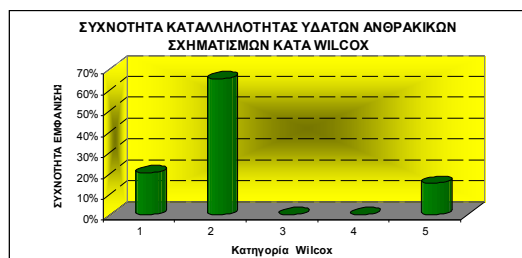
Τα επιφανειακά ύδατα, όπως και στην κατηγορία Richards εμφανίζονται σε ποσοστό 100% στην κατηγορία 2 (καλά έως αποδεκτά ύδατα για άρδευση).



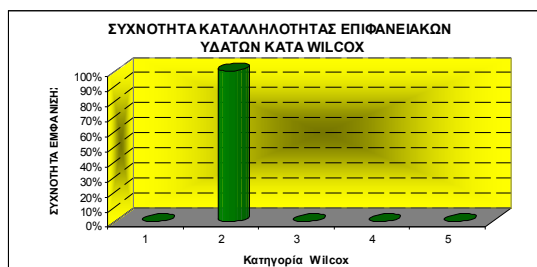
**Σχήμα 8.185 :** Συχνότητα καταλληλότητας υδάτων τεταρτογενών σχηματισμών της περιοχής κατά Wilcox



**Σχήμα 8.186 :** Συχνότητα καταλληλότητας υδάτων νεογενών σχηματισμών της περιοχής κατά Wilcox



**Σχήμα 8.187 :** Συχνότητα καταλληλότητας υδάτων ανθρακικών σχηματισμών της περιοχής κατά Wilcox

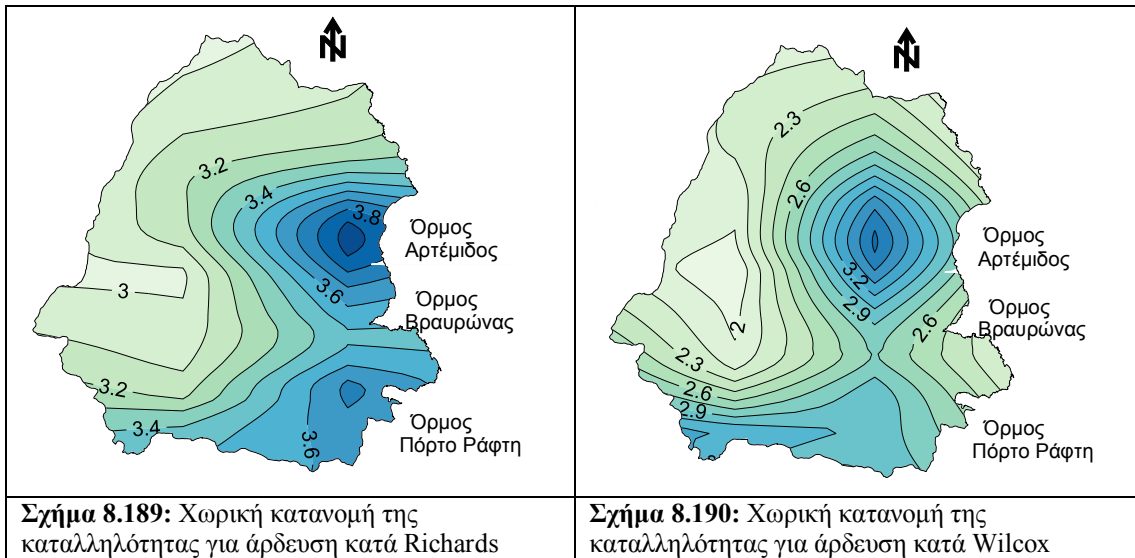


**Σχήμα 8.188 :** Συχνότητα καταλληλότητας επιφανειακών υδάτων της περιοχής κατά Wilcox

Η χωρική κατανομή της καταλληλότητας των νερών της περιοχής για άρδευση δεν παρουσιάζει μεγάλες διαφορές με τη μέθοδο του Richards. Από την ενδοχώρα η Παλλήνη, το Κορωπί και το Μαρκόπουλο έχουν ακατάλληλο νερό για άρδευση, ενώ κακής ποιότητας αρδευτικό νερό έχουν και τα παράλια της περιοχής (σχήμα 8.190).

Να σημειωθεί πως στη γειτονική λεκάνη Μαραθώνος- Κάτω Σουλίου που βρίσκεται ανάντη της λεκάνης Μεγάλου Ρέματος κι έχει παρεμφερή γεωλογία, παρουσιάζεται επίσης υφαλμύριση τόσο στον υδροφόρο του επιπέδου της θάλασσας όσο και σε αυτόν των βαθύτερων στρωμάτων (Tzanis et al., 2008).

Στη λεκάνη Ασωπού Βοιωτίας που η γεωλογία της επίσης παρουσιάζει ομοιότητες με την υπό εξέταση περιοχή, παρατηρείται υφαλμύριση της παράκτιας ζώνης (Γιαννουλόπουλος, 2008).



## 8.8 Προέλευση των στοιχείων

Τα κύρια στοιχεία και ιχνοστοιχεία στα φυσικά επιφανειακά και υπόγεια νερά προκύπτουν κατά κύριο λόγο από τη διάλυση των πετρωμάτων και ορυκτών. Η χημική σύνθεση των πετρωμάτων επηρεάζει άμεσα τη χημική σύσταση των νερών με τα οποία έρχονται σε επαφή. Τα κατεξοχήν στοιχεία που παρατηρούνται στα φυσικά υπόγεια νερά λόγω της διάλυσης των πετρωμάτων είναι τα  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  και το αδιάλυτο μόριο  $\text{SiO}_2$ . Ανθρωπογενείς δραστηριότητες στην επιφάνεια της γης έχουν σαν αποτέλεσμα την κάθοδο (έκπλυση) διαφόρων στοιχείων με τη βοήθεια του νερού της βροχής ή της άρδευσης προς τον υδροφόρο. Τα στοιχεία αυτά που προκύπτουν στα υπόγεια νερά από εφαρμογή αγροχημικών στις καλλιέργειες, από έκπλυση μη στεγανών βόθρων, από διαφυγή βιομηχανικών αποβλήτων και λοιπές ανθρώπινες δραστηριότητες είναι κυρίως τα  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  καθώς και πολλά βαρέα μέταλλα σε μικρότερες όμως συγκεντρώσεις. Η διείσδυση της θάλασσας στον υδροφόρο, αποτέλεσμα της υπέρμετρης άντλησης του υδροφόρου στην παράκτια ζώνη, συνεισφέρει σημαντικά στην αύξηση των στοιχείων  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  που βρίσκονται σε αφθονία στο θαλασσινό νερό.

Η ιοντική ισορροπία στα φυσικά νερά συνεπάγεται ισορροπία μεταξύ των ανιόντων και κατιόντων, δηλαδή το άθροισμα των συγκεντρώσεων των ανιόντων, εκφρασμένες σε meq/l ισούται με το αντίστοιχο άθροισμα των κατιόντων. Οι ιοντικοί λόγοι είναι ένα σημαντικό εργαλείο για την παροχή πληροφοριών σχετικά με την προέλευση των στοιχείων από συγκεκριμένα πετρώματα ή από διείσδυση της θάλασσας.

Οι δείκτες κορεσμού παρέχουν επίσης σημαντικές πληροφορίες για τον κορεσμό ή όχι του νερού σε κάποιο πέτρωμα ή ορυκτό, αν δηλαδή το νερό έχει την τάση να διαλύει το ορυκτό οπότε και συνεχίζει να επηρεάζεται η σύστασή του στα στοιχεία του ορυκτού ή αν αντίθετα βρίσκεται σε ισορροπία με το ορυκτό ή εναποθέτει σε αυτό.

### 8.8.1 Ιοντικοί λόγοι

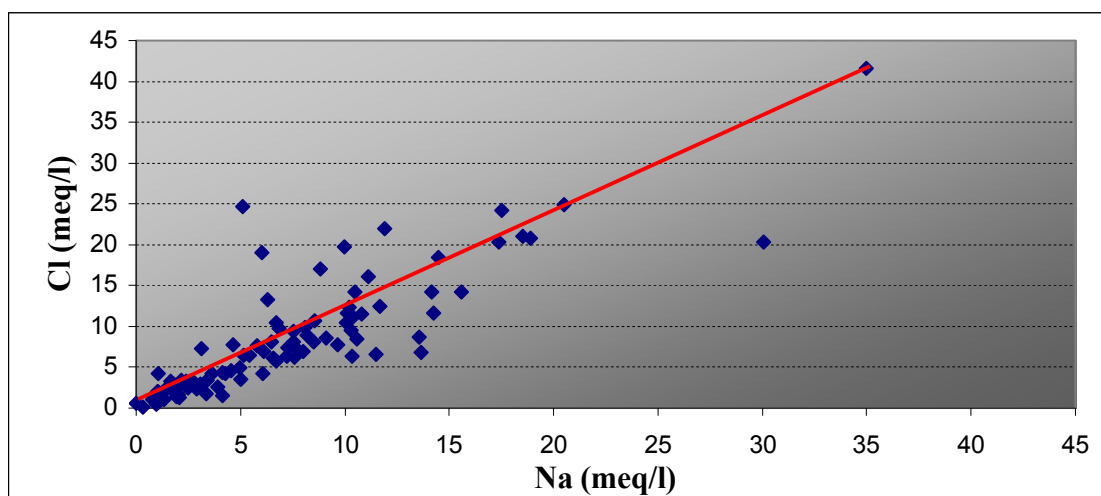
Οι ιοντικές σχέσεις, εκφρασμένες σε meq/l, παρέχουν σημαντικές πληροφορίες για την προέλευση των νερών και για την τεκμηρίωση του φαινομένου διείσδυσης της θάλασσας στον υδροφόρο (Mandel–Shiftan, 1981).

- **Ιοντικοί λόγοι  $\text{Na}:\text{Cl}$  και  $(\text{Ca}+\text{Mg}-\text{SO}_4-\text{HCO}_3):\text{Cl}$**

Η ύπαρξη ιόντων χλωρίου σε συγκεντρώσεις μεγαλύτερες των 300 mg/l φανερώνει τη διείσδυση της θάλασσας στον υδροφόρο. Η εκτίμηση του φαινομένου αυτού προκύπτει από τους λόγους  $\text{Na}:\text{Cl}$  εκφρασμένοι σε meq/l. Στο θαλασσινό νερό οι λόγοι κυμαίνονται από 0,556 έως 0,875. Στα φυσικά υπόγεια νερά οι λόγοι κυμαίνονται στο  $0,876 \pm 10\%$  δηλαδή από 0,7884 έως 0,9636. Ο λόγος  $\text{Na}:\text{Cl}$  όταν είναι μικρότερος εκείνου της θάλασσας φανερώνει αντίστροφη κατιοανταλλαγή και μάλιστα όταν είναι μικρότερος από 0,7, μαρτυρεί την άμεση επίδραση της θάλασσας. Όταν οι τιμές  $\text{Na}:\text{Cl} > 1$ , υποδηλώνεται ότι υφίσταται ιοντική ανταλλαγή Ca και Mg με Na (Mathhess, 1973).

Απ' τον πίνακα 8.42 βλέπουμε πως μόνο το 30% των δειγμάτων βρίσκεται μέσα στο εύρος τιμών των λόγων  $\text{Na}:\text{Cl}$  των φυσικών υπόγειων νερών. Στην πλειοψηφία (38%) παρατηρείται ιοντική ανταλλαγή Ca και Mg με Na (λόγος μεγαλύτερος του 1). Το 20% των δειγμάτων παρουσιάζει λόγο μικρότερο του 0,7. Ωστόσο, λίγα απ' τα δείγματα αυτά βρίσκονται στην παράκτια ζώνη, υποδηλώνοντας την επιρροή της θάλασσας. Τα περισσότερα εξ αυτών βρίσκονται στην ενδοχωρική περιοχή υποδηλώνοντας τη συμβολή των υπολειμματικών εβαποριτικών αλάτων στην αύξηση των χλωριόντων (Stamatis et al., 2006).

Στο σχήμα 8.191 που ακολουθεί παρουσιάζεται γραφικά η διασπορά των τιμών της ιοντικής σχέσης Na:Cl και η ευθεία που ενώνει τις δυο ακραίες τιμές των νερών της βροχής και της θάλασσας.



**Σχήμα 8.191:** Γραφική απεικόνιση του διαγράμματος διασποράς των τιμών ιοντικής σχέσης Na:Cl και η ευθεία που ενώνει τις δυο ακραίες τιμές των νερών της βροχής και της θάλασσας.

Η τεκμηρίωση του φαινομένου εισβολής της θάλασσας στον υδροφόρο γίνεται με τον συνδυασμό των λόγων Na:Cl και  $(Ca+Mg-SO_4-HCO_3):Cl$  (πίνακας 8.42). Αν ισχύει  $Na:Cl < 1$  και  $(Ca+Mg-SO_4-HCO_3):Cl > 0$  τότε φανερώνεται αντικατάσταση φρέσκου νερού από θαλασσίνο.

Ο συνδυασμός των λόγων  $Na:Cl < 1$  και  $(Ca+Mg-SO_4-HCO_3):Cl > 0$  επιβεβαιώνεται στην πλειονότητα των νερών της περιοχής έρευνας (45%) υποδηλώνοντας την ανάμιξη θαλασσίνο νερού με φρέσκο υπόγειο νερό (πίνακας 8.42). Αρκετά δείγματα της περιοχής (37%) δεν πληρούν τη σχέση  $Na:Cl < 1$ , κάτι που υποδηλώνει την τροφοδοσία του υδροφόρου με φρέσκο νερό. Ο συνδυασμός των παραπάνω λόγων στα δείγματα των νερών της παράκτιας ζώνης μαρτυρούν τη διείσδυση της θάλασσας στον υδροφόρο.

Οι λόγοι που βρέθηκαν στα υπόλοιπα δείγματα της ενδοχώρας, δεν μπορεί να φανερώνουν εισβολή της θάλασσας καθόσον βάσει των υδρογεωλογικών συνθηκών της περιοχής, ο φρεάτιος υδροφόρος βρίσκεται πολλά μέτρα ψηλότερα της απόλυτης στάθμης της θάλασσας. Επίσης, οι σχιστόλιθοι οι οποίοι αποτελούν το υπόβαθρο των νεογενών σχηματισμών, είναι αδιαπέρατοι σχηματισμοί παρεμποδίζοντας την θαλάσσια διείσδυση. Η ομοιότητα της σύστασης αυτών των δειγμάτων με το θαλασσίνο νερό αποδίδεται προφανώς στην ύπαρξη των υπολειμματικών εβαποριτικών αλάτων εντός των Νεογενών σχηματισμών. Ανεπάρκεια  $Na^+$  σε σχέση με το  $Cl^-$  συμβαίνει λόγω κατιοανταλλαγών ή λόγω καθίζησης αλάτων  $Na^+$  (Καλλέργης, 2000).

Αν εξετασθούν ξεχωριστά η ξηρή και ξεχωριστά η υγρή περίοδος (μέσος όρος λόγων κάθε περιόδου) προκύπτουν αποτελέσματα που δείχνουν τη συμβολή του βρόχινου νερού στη βελτιστοποίηση της ποιότητας αυτών. Την ξηρή περίοδο το 54% των δειγμάτων ακολουθεί το λόγο  $Na:Cl < 1$  και  $(Ca+Mg-SO_4-HCO_3):Cl > 0$  των ιοντικών σχέσεων, ενώ την υγρή περίοδο που εμπλουτίζονται τα υπόγεια κι επιφανειακά ύδατα με καθαρό νερό, το ποσοστό μειώνεται στο 36%. Απ' το λόγο αυτό συμπεραίνουμε πως περίπου τα μισά νερά της περιοχής επηρεάζονται απ' τη γεωλογία αυτής (εβαπορίτες).

- **Ιοντικός λόγος Cl:Br**

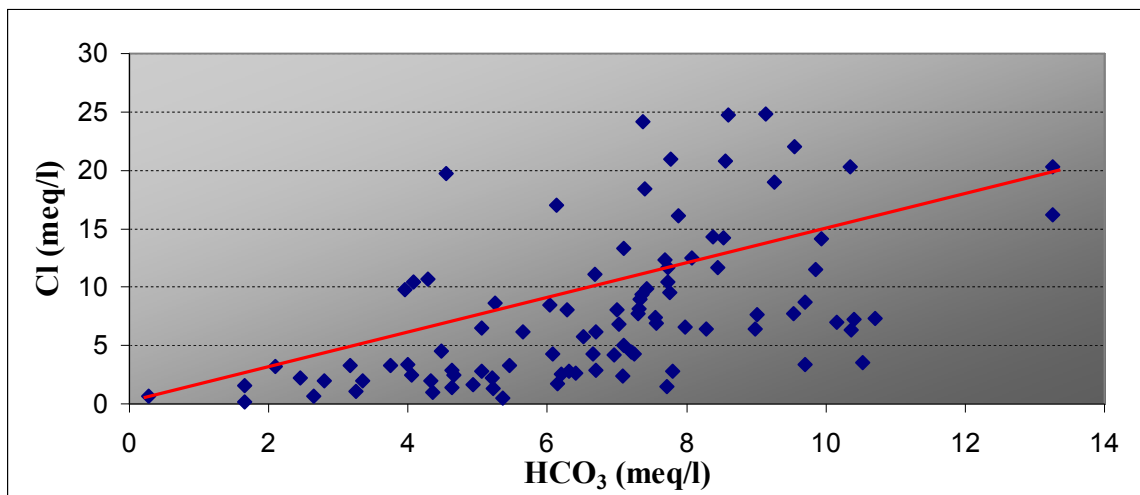
Ο λόγος Cl:Br δίνει επίσης σημαντικές πληροφορίες για την πιθανή εισβολή της θάλασσας στα υπόγεια νερά ή την επαφή αυτών με εβαπορίτες. Η σχέση Cl:Br στο θαλασσινό νερό είναι γύρω στο 300, ενώ σε νερά που έχουν έρθει σε επαφή με εβαπορίτες κυμαίνεται μεταξύ 500 και 4.000. Οι λόγοι αυτοί στα νερά της περιοχής έρευνας (πίνακας 8.42) εμφανίζονται ιδιαίτερα υψηλοί.

Οι λόγοι 18 υπόγειων νερών (19%), η πλειοψηφία των οποίων βρίσκεται στην ενδοχώρα παρουσιάζουν τιμές μεταξύ 500 και 4.000 που επιβεβαιώνουν την ύπαρξη εβαποριτών (αλύτης, καρναλύτης, γύψος, ανυδρίτης κλπ) στο γεωλογικό υπόβαθρο της περιοχής έρευνας.

- **Ιοντικός λόγος Cl:HCO<sub>3</sub>**

Ο λόγος Cl:HCO<sub>3</sub> μας δίνει σημαντικές πληροφορίες για ενδεχόμενη θαλάσσια διείσδυση. Όταν ο λόγος είναι κοντά στη μονάδα υποδηλώνεται εμπλουτισμός από την θάλασσα, ενώ τιμές μικρότερες του 1 παρουσιάζουν τα φυσικά φρέσκα υπόγεια νερά. Τιμές του λόγου μέχρι 2 υποδηλώνουν ελαφρά ρυπασμένο νερό ενώ από 2 έως 6 μέτρια ρυπασμένο απ' την θάλασσα νερό (Βουδούρης, 2009).

Στα νερά της περιοχής (πίνακας 8.42) η πλειοψηφία των λόγων (55%) βρέθηκε μικρότερο του 1 δείχνοντας την μη επιρροή αυτών από την θάλασσα. Τα σημεία αυτά εντοπίζονται στα κεντρικά και δυτικά τμήματα της περιοχής. Το 30% αυτών παρουσιάζει μικρές τιμές του λόγου (1 έως 2) ενώ στο υπόλοιπο 15% ο λόγος ξεπερνά το 2 χωρίς να το υπερβαίνει πολύ. Τα σημεία αυτά εντοπίζονται κυρίως στην ανατολική παράκτια ζώνη της περιοχής.



**Σχήμα 8.192:** Γραφική απεικόνιση του διαγράμματος διασποράς των τιμών ιοντικής σχέσης Cl:HCO<sub>3</sub> και η ευθεία που ενώνει τις δυο ακραίες τιμές των νερών της βροχής και της θάλασσας.

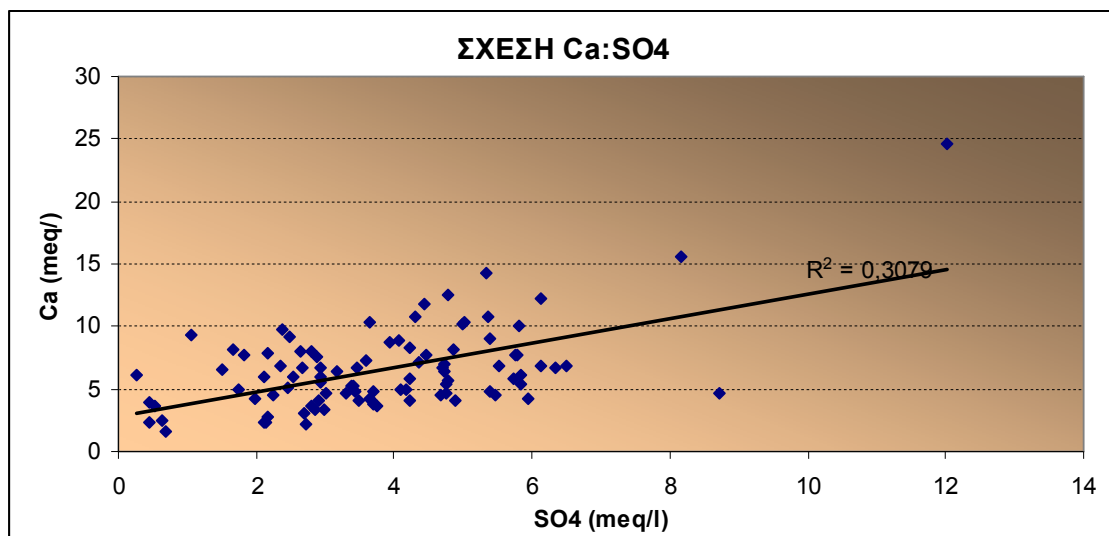
Συμπερασματικά, λαμβάνοντας υπόψη όλους τους προαναφερόμενους λόγους, βλέπουμε πως τα νερά της περιοχής υφίστανται μια μικρή θαλάσσια διείσδυση, που ωστόσο έχει βάση μόνο στον παράκτιο και καρστικό υδροφόρο. Η ύπαρξη εβαποριτών στο γεωλογικό υπόβαθρο της περιοχής, έχει συντελέσει στην ελαφρά υφαλμύρωση των υδάτων.

Τέλος, από όλους τους λόγους που εξετάστηκαν (πίνακας 8.42) σε συνδυασμό με τα βάθη των γεωτρήσεων (πίνακας VII του Παραρτήματος) καταλήγουμε στο συμπέρασμα πως οι βαθιές γεωτρήσεις Γ4 (Βραυρώνα), Γ40 και Γ41 (Σπάτα) και Γ72 (Μαρκόπουλο) εκμεταλλεύονται τον καρστικό υδροφόρο και φανερώνουν την άμεση επίδραση και το βαθμό της θαλάσσιας διείσδυσης.

- **Ιοντικός λόγος Ca:SO<sub>4</sub>**

Ο λόγος Ca:SO<sub>4</sub> παρέχει πληροφορίες για την προέλευση των ιόντων ασβεστίου και θεικών από τον ανυδρίτη (CaSO<sub>4</sub>). Τιμές του λόγου γύρω στη μονάδα υποδηλώνουν την προέλευση αυτών των στοιχείων από τον ανυδρίτη. Οι ιοντικοί λόγοι Ca:SO<sub>4</sub> των υπόγειων υδάτων της περιοχής παρουσιάζουν τιμές από 0,53 έως 22,3 με μέσο όρο 2,29. Αρκετές τιμές είναι πλησίον της μονάδας, κάτι που αντικατοπτρίζει την προέλευση του ασβεστίου και θεικών σε αυτά τα νερά από τον ανυδρίτη.

Από το διάγραμμα διασποράς της ιοντικής σχέσης Ca:SO<sub>4</sub> (σχήμα 8.193) παρατηρείται σχετικά χαμηλός συντελεστής προσαρμογής της ευθείας διασποράς των τιμών (0,31). Γενικά, από το λόγο αυτό συμπεραίνεται η ύπαρξη ανυδρίτη στην περιοχή, που προσδίδει κατά τη διάλυσή του ιόντα ασβεστίου και θεικών στα υπόγεια ύδατα, χωρίς να είναι η αποκλειστική πηγή. Η προέλευση των υδάτων από τη διάλυση ανυδρίτη αποδεικνύεται και με τους δείκτες κορεσμού (κεφ. 8.8.2).



Σχήμα 8.193: Γραφική απεικόνιση του διαγράμματος διασποράς των τιμών ιοντικής σχέσης Ca:SO<sub>4</sub>

- **Ιοντικός λόγος BEX**

Ο λόγος BEX (Base Exchange Index) δημιουργήθηκε απ' τον Stuyfzand (1999) για την ένδειξη θαλάσσιας διείσδυσης και δίνεται απ' τον τύπο:

$$BEX = (Na^+ + K^+ + Mg^{2+}) - 1,0716Cl^- \text{ σε meq/l.}$$

Όταν ο δείκτης είναι θετικός υποδηλώνεται θαλάσσιος εμπλουτισμός. Τα νερά που έχουν υποστεί έντονη υφαλμύριση παρουσιάζουν εξαιρετικά υψηλές τιμές του δείκτη (Βουδούρης, 2009).

Στην περιοχή έρευνας, η πλειοψηφία των νερών παρουσιάζει θετικές τιμές (πίνακας 8.42), χωρίς όμως να παρουσιάζει σημαντικά υψηλές τιμές. Οι υψηλότεροι λόγοι BEX που είναι γύρω στο 10 εμφανίζονται στα παράκτια πηγάδια Π15 και Π22, στις βαθιές γεωτρήσεις που έχουν φθάσει στον καρστικό, επηρεασμένο απ' την θάλασσα υδροφόρο Γ40 και Γ41 αλλά και στα πηγάδια της ενδοχώρας Π55, Π65, Π69, Π80, Π81, Π84 και Π87. Ο λόγος BEX στα τελευταία πηγάδια δεν υποδηλώνει σε καμία περίπτωση θαλάσσια διείσδυση. Η υψηλή του τιμή αποδίδεται στη διάλυση εβαποριτών του γεωλογικού υποβάθρου.



**Πίνακας 8.42:** Λόγοι Na:Cl, (Ca+Mg-SO<sub>4</sub>-HCO<sub>3</sub>):Cl, Cl:Br, BEX και Cl:HCO<sub>3</sub> που εμφανίζουν τα νερά της περιοχής έρευνας

No	Na:Cl	(Ca+Mg-SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub> ):Cl	Cl:Br	BEX	Cl:HCO <sub>3</sub>	No	Na:Cl	(Ca+Mg-SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub> ):Cl	Cl:Br	BEX	Cl:HCO <sub>3</sub>
1	0,92	0,25	17886	4,4	1,22	48	1,91	-2,14	4663	3,51	0,28
2	0,87	0,2	8484	5,26	1,51	49	0,67	0,36	3197	2,71	1,52
3	0,93	0,28	64548	5,3	1,15	50	1,55	-1,79	10791	3,56	0,26
4	0,73	0,34	114109	4,11	1,7	51	0,54	-0,21	15588	1,74	0,45
5	0,8	0,45	32374	2,65	1,11	52	0,78	-1,77	3997	2,56	0,23
6	0,73	0,38	5276	0,84	0,88	53	0,85	-0,38	33973	4,06	0,7
7	0,69	0,5	128897	3,57	2,05	54	0,5	0,21	78937	-2,46	4,34
8	1,05	0,04	21516	4,81	1,29	55	1,25	-0,12	61551	10,91	0,81
9	1,23	-0,02	49560	6,57	0,93	56	0,81	-0,87	26579	2,82	0,61
10	0,51	0,52	13040	1,37	1,03	57	0,32	0,23	16875	-4,69	2,05
11	1,16	-0,01	11541	6,21	0,89	58	0,21	0,56	98721	-7,69	2,87
12	1,01	0,17	36171	3,39	1,01	59	0,52	0,95	45364	-1,15	2,78
13	1,22	0,02	4746	1,5	0,34	60	0,76	0,52	7619	4,49	0,85
14	0,79	0,21	36871	-0,22	2,49	61	0,43	-0,06	14588	4,8	0,68
15	2	-0,87	18252	9,25	0,97	62	0,84	0,33	5729	5,79	0,78
16	0,76	-0,52	2558	0,36	0,97	63	0,47	-0,09	11813	-1,07	1,87
17	1,25	-0,1	22582	4,79	1,4	64	0,64	-0,05	20783	-0,74	2,55
18	1,42	-0,51	4882	2,8	0,64	65	1,1	-0,51	7082	10,71	1,43
19	1,56	-0,53	13909	6,62	0,9	66	0,59	-0,54	2498	1,33	0,62
20	1,06	-0,12	13749	3,11	1,64	67	0,86	0,2	20284	9,53	1,96
21	1,22	-0,22	18625	5,63	1,38	68	0,77	-0,62	2569	1,29	0,92
22	1,48	-0,47	20284	14,84	1,53	69	1,14	-0,15	7251	10,34	0,61
23	0,7	0,09	19584	0,36	2,48	70	1,08	-0,27	-	3,35	0,69
24	2,03	-2,57	171	0,65	0,09	71	0,64	0,28	6795	5,29	0,35
25	1,08	0,03	25313	5,73	1,23	72	0,72	0,42	27635	4,52	3,29
26	0,88	0,29	11051	3,9	0,91	73	0,82	0,31	12415	5,06	2,72
27	1,59	-0,35	899	0,97	0,25	74	0,99	0,29	7974	1,62	0,7
28	0,94	0,59	5862	4,84	0,61	75	1,03	0,27	5562	1,11	0,6
29	1	-0,26	5436	2,47	0,85	76	0,88	0,24	23981	2,96	2,7
30	1,21	0,39	2678	4,87	0,34	77	0,93	0,2	49960	7,47	1,55
31	1,51	-0,95	3431	4,53	0,42	80	1,44	-0,1	5596	9,2	0,33
32	0,69	-0,22	2227	1,17	0,58	81	0,99	0,13	22742	8,29	1,67
33	0,71	0,48	10592	1,21	0,41	82	0,83	0,48	16420	5,5	1,6
34	2,75	-0,99	1998	4	0,19	83	0,93	0,2	44464	4,28	1,67
35	1,23	-1,66	2931	1,38	0,34	84	0,94	0,18	15288	10,11	1,16
36	0,51	-0,21	3118	0,83	0,7	85	0,96	0,27	13922	5,56	1,35
37	0,85	1	5521	2,06	0,55	86	0,89	0,91	7361	2,57	0,44
38	0,85	1,56	3517	3,08	0,42	87	1,62	-0,59	17053	9,07	0,71
39	0,8	0,43	14189	4,12	2,48	88	1,75	-0,66	8726	7,43	0,82
40	0,54	0,53	13528	8,92	2,3	89	0,6	0,63	20517	1,06	1,05
41	0,91	0,02	9769	8,14	2,43	90	1	0,3	3957	2,14	0,53
42	1,07	-0,07	-	3,89	0,43	91	0,25	1,19	-	6,07	0,59
43	0,79	-0,18	17319	1,56	1,29	92	1,07	-0,02	-	2,86	1,09
44	1,15	-0,39	2137	5,8	0,68	93	0,95	1,38	3312	3,55	0,63
45	0,67	-0,36	22382	2,01	0,36	94	0,82	0,27	39369	3,98	1,33
46	1,86	-0,95	-	1,83	0,1	95	0,8	0,32	2890	5,94	1,28
47	1,41	-0,68	1221	2,05	0,3	96	0,98	-0,05	59153	6,06	0,98

## 8.8.2 Δείκτες Κορεσμού

Ο δείκτης κορεσμού παρέχει σημαντικές πληροφορίες για τον κορεσμό ή όχι του νερού σε κάποιο ορυκτό. Ο δείκτης κορεσμού (SI) εκφράζεται συνήθως με το λόγο  $SI = \log(IAP/K)$ , όπου IAP είναι το γινόμενο της ιοντικής δραστηριότητας στο δείγμα νερού και K το γινόμενο της διαλυτότητας του ορυκτού σε ισορροπία (Appelo and Postma, 1996). Στην περίπτωση του ανυδρίτη ( $CaSO_4$ ) τα γινόμενα αυτά είναι:

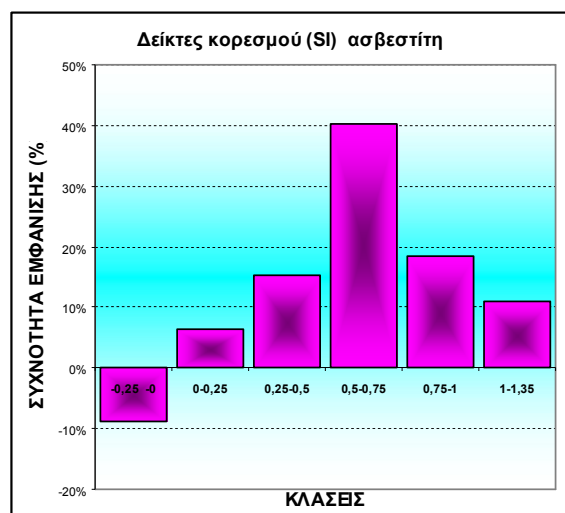
$K = [Ca^{2+}][SO_4^{2-}]$  σε ισορροπία και

$IAP = [Ca^{2+}][SO_4^{2-}]$  στο δείγμα νερού.

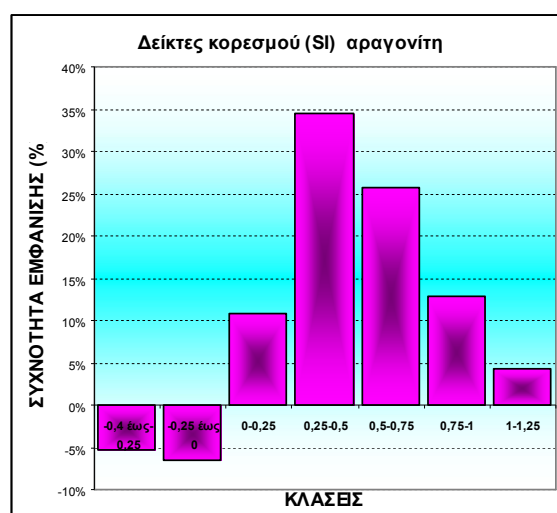
Όταν ο λόγος είναι μηδενικός ( $SI=0$ ) υπάρχει ισορροπία του νερού με το ορυκτό, όταν είναι μεγαλύτερος του μηδέν ( $SI>0$ ) υπάρχει κορεσμός, δηλαδή το νερό εναποθέτει στο πέτρωμα και όταν είναι μικρότερος του μηδέν ( $SI<0$ ) το νερό είναι ακόρεστο κι έχει την τάση να διαλύει το ορυκτό οπότε και συνεχίζει να επηρεάζεται η σύστασή του στα στοιχεία αυτού. Στην φύση σπάνια επιτυγχάνεται ισορροπία (Appelo and Postma, 1996).

Οι δείκτες κορεσμού στα διάφορα ορυκτά προέκυψαν με το πρόγραμμα “Hydrowin”. Σύμφωνα με αυτούς όλα τα νερά (100%) περιέχουν στοιχεία απ’ τη διάλυση αλύτη ( $NaCl$ ) και ανυδρίτη ( $CaSO_4$ ). Το 87,23% αυτών προέρχονται από δολομίτη ( $CaMg(CO_3)_2$ ) και μόλις το 24,47% αυτών από ασβεστίτη ( $CaCO_3$ ). Τα περισσότερα νερά είναι κορεσμένα σε δολομίτη, ασβεστίτη και αραγωνίτη, πολύ λίγα είναι κορεσμένα σε μαγνησίτη ( $MgCO_3$ ) και ελάχιστα σε στροντιανίτη ( $SrCO_3$ ) και σιδερίτη. Το 100% είναι ακόρεστα σε ανυδρίτη και γύψο ( $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ ), κάτι που υποδηλώνει τη συνεχόμενη διάλυση αυτών των ορυκτών του γεωλογικού υποβάθρου της περιοχής στα νερά του υδροφόρου.

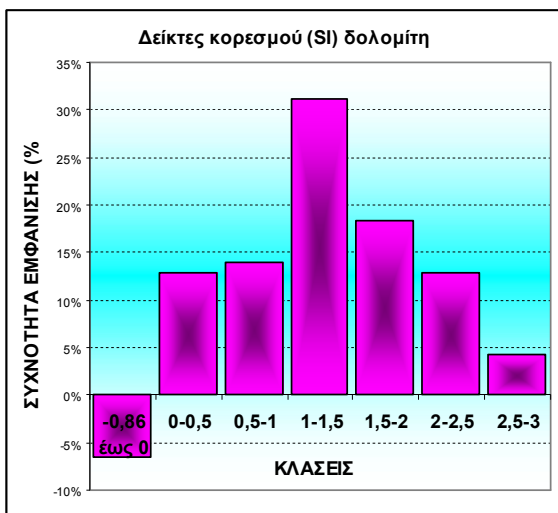
Στα κάτωθι διαγράμματα φαίνεται ο κορεσμός στα προαναφερθέντα ορυκτά. Οι τιμές των δεικτών κορεσμού έχουν κατηγοριοποιηθεί σε κλάσεις. Οι κλάσεις με τις αρνητικές τιμές παρουσιάζονται στα διαγράμματα με στήλες κάτω από τον άξονα των x κι αντιπροσωπεύουν ακόρεστες συνθήκες ενώ οι θετικές τιμές παρουσιάζονται σε στήλες ανάντη του άξονα αντιπροσωπεύοντας συνθήκες κορεσμού μεταξύ του νερού και του αντίστοιχου ορυκτού. Οι τιμές των δεικτών κορεσμού σε καθένα δείγμα νερού παρουσιάζονται στον πίνακα 8.43.



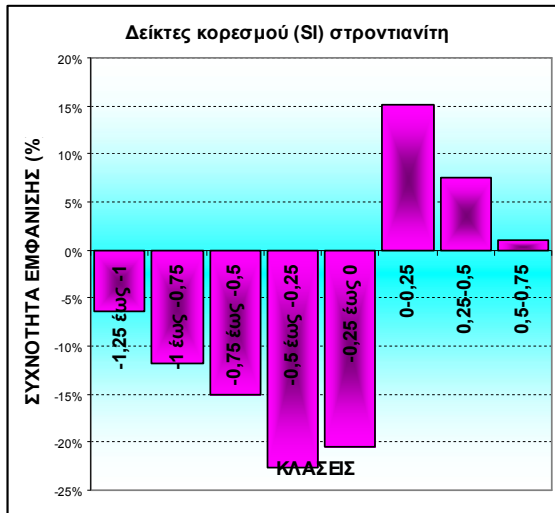
Σχήμα 8.194: Κορεσμός υπόγειων νερών στον ασβεστίτη



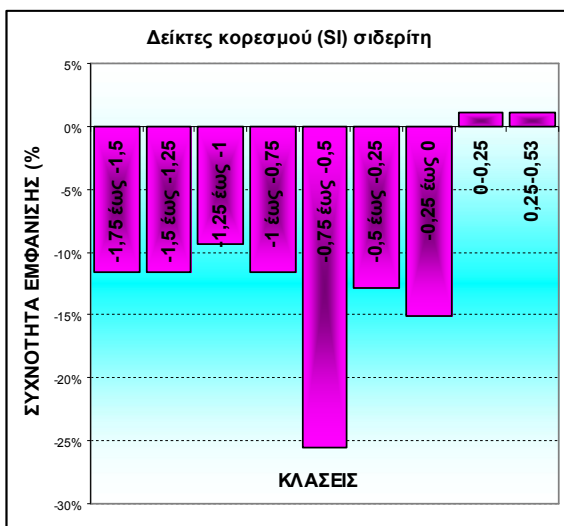
Σχήμα 8.195: Κορεσμός υπόγειων νερών στον αραγωνίτη



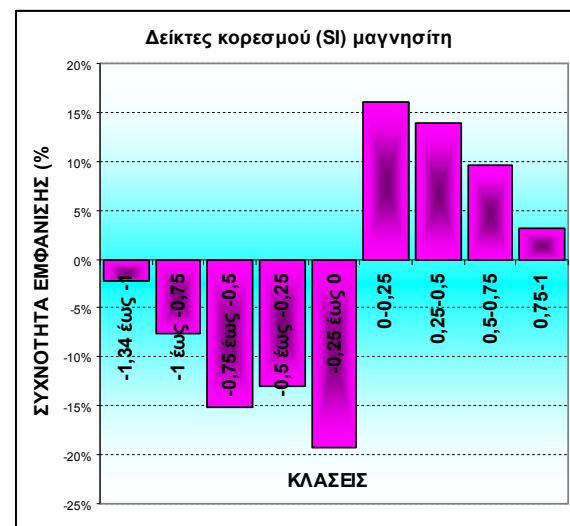
Σχήμα 8.196: Κορεσμός υπόγειων νερών στον δολομίτη



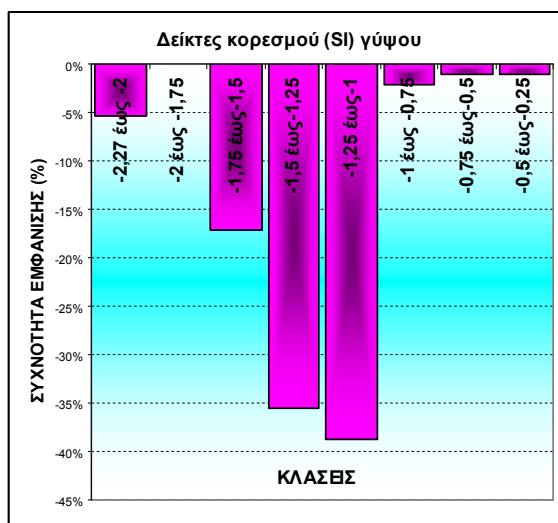
Σχήμα 8.197: Κορεσμός υπόγειων νερών στον στροντιανίτη



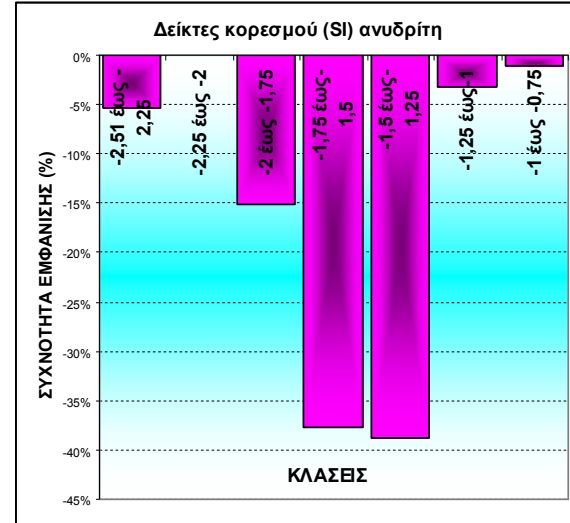
Σχήμα 8.198: Κορεσμός υπόγειων νερών στον σιδερίτη



Σχήμα 8.199: Κορεσμός υπόγειων νερών στον μαγνησίτη



Σχήμα 8.200: Κορεσμός υπόγειων νερών στον ανυδρίτη



Σχήμα 8.201: Κορεσμός υπόγειων νερών στον γύψο

**Πίνακας 8.43:** Δείκτες κορεσμού (SI) των δειγμάτων νερού στα κυριότερα πετρώματα

No	Ασβεστί- της	Αραγο- νίτης	Δολομί- της	Στροντι- ανίτης	Σιδερίτης	Μαγνη- σίτης	γύψος	ανυδρίτης
1							-1,17	-1,42
2	1,01	0,87	2,23	0,02	-0,94	0,49	-1,15	-1,39
3	0,44	0,29	0,99	-0,62	-0,94	-0,20	-1,13	-1,38
4	0,57	0,42	1,35	-0,44	-1,74	0,03	-1,14	-1,38
5	1,19	1,04	2,34	0,06	-0,20	0,35	-1,25	-1,50
6	0,71	0,57	1,21	-0,31	-1,02	-0,25	-1,57	-1,81
7	0,75	0,60	1,63	-0,17	-1,63	0,14	-1,03	-1,27
8	1,13	0,98	2,37	0,21	-0,90	0,56	-1,32	-1,55
9		0,98	2,54	0,27	-0,92	0,66	-1,40	-1,64
10	0,49	0,34	1,09	-0,44	-1,40	-0,03	-1,67	-1,89
11	1,24	1,09	2,77	0,41	-0,83	0,80	-1,40	-1,64
12	1,00	0,85	2,17	0,05	-0,62	0,36	-1,52	-1,77
13	0,55	0,40	0,42	-0,71	-0,63	-0,87	-1,39	-1,63
14	1,02	0,87	1,88	-0,12	-0,45	0,09	-1,05	-1,29
15	0,63	0,48	1,14	0,05	-1,08	-0,23	-1,08	-1,32
16	0,35	0,20	0,39	-0,36	-0,02	-0,71	-1,71	-1,95
17	0,57	0,42	1,09	-0,28	-0,39	-0,24	-1,36	-1,60
18	0,60	0,45	0,72	-0,44	-1,15	-0,57	-1,51	-1,74
19	0,54	0,39	0,85	-0,42	-0,55	-0,43	-1,46	-1,70
20	0,22	0,07	0,39	-0,64	-0,53	-0,55	-1,34	-1,58
21	0,70	0,55	1,37	-0,16	-0,20	-0,07	-1,23	-1,47
22	0,72	0,57	1,81	0,15	-0,28	0,34	-1,32	-1,57
23	-0,04	-0,18	0,05	-0,81	-0,90	-0,64	-1,37	-1,61
24	-0,25	-0,40	-0,86	-0,81	-0,53	-1,34	-2,25	-2,49
25	0,67	0,52	1,44	-0,21	-0,53	0,02	-1,17	-1,41
26	0,58	0,43	1,20	-0,48	-1,39	-0,20	-1,15	-1,39
27	0,31	0,16	0,19	-0,80	-1,42	-0,90	-2,24	-2,48
28	0,64	0,49	1,37	-1,06	-1,28	-0,06	-1,33	-1,57
29	0,26	0,11	0,42	-0,66	-1,50	-0,61	-1,18	-1,42
30	0,38	0,23	1,12	-1,13	-0,51	-0,03	-1,70	-1,94
31	0,63	0,49	1,35	-0,41	-0,96	0,04	-1,58	-1,82
32	0,07	-0,08	0,00	-0,92	-1,60	-0,81	-1,43	-1,67
33	0,51	0,37	0,66	-0,93	-1,44	-0,60	-1,36	-1,60
34	0,63	0,48	0,77	-1,09	-1,58	-0,62	-1,39	-1,63
35	-0,13	-0,28	-0,52	-1,23	-1,69	-1,16	-1,46	-1,70
36	-0,11	-0,26	-0,35	-1,17	-1,67	-0,98	-1,35	-1,59
37	0,48	0,33	0,68	-0,90	-1,36	-0,54	-0,25	-1,49
38	0,54	0,39	0,87	-0,84	-1,66	-0,43	-1,05	-1,29
39	0,49	0,34	1,05	-0,30	-0,67	-0,26	-0,90	-1,14
40	0,84	0,69	2,38	0,41	-0,08	0,79	-1,29	-1,53
41	0,83	0,68	2,30	0,36	-0,20	0,70	-1,31	-1,56
42	0,59	0,45	1,22	-0,76	-1,27	-0,14	-1,29	-1,54
43	0,39	0,24	0,97	-0,47	-0,25	-0,22	-1,55	-1,80
44	1,35	1,20	2,72	0,27	0,10	0,60	-1,19	-1,44
45	0,46	0,31	0,80	-0,57	-0,44	-0,41	-1,30	-1,54
46	0,67	0,52	1,07	-0,07	-0,31	-0,34	-2,01	-2,25

**Πίνακας 8.43:** συνέχεια

No	Ασβεστί- της	Αραγο- νίτης	Δολομί- της	Στροντι- ανίτης	Σιδερίτης	Μαγνη- σίτης	γύψος	ανυδρίτης
47	0,26	0,11	0,28	-0,62	-0,41	-0,71	-1,57	-1,81
48	0,20	0,05	0,37	-0,64	-0,74	-0,59	-1,53	-1,77
49	1,01	0,86	2,15	0,17	-1,01	0,40	-1,20	-1,44
50	-0,01	-0,16	0,13	-1,04	-0,57	-0,63	-1,59	-1,83
51	0,13	-0,02	0,10	-0,09	-0,79	-0,82	-1,05	-1,30
52	-0,06	-0,21	-0,03	-0,88	-0,73	-0,73	-1,38	-1,62
53	0,22	0,07	0,68	-0,70	-0,61	-0,40	-1,16	-1,41
54	0,47	0,32	1,27	-0,57	-0,30	0,04	-1,14	-1,38
55	0,80	0,65	1,94	-0,11	-0,12	0,36	-1,01	-1,25
56	0,29	0,14	0,67	-0,18	-0,58	-0,30	-1,22	-1,45
57	1,14	1,00	2,48	0,19	-0,22	0,61	-1,05	-1,29
58	0,77	0,62	1,72	-0,42	-0,56	0,25	-1,02	-1,26
59	0,78	0,63	1,30	-0,58	-0,70	-0,27	-0,51	-0,75
60	0,96	0,81	1,96	0,02	-0,20	0,21	-1,07	-1,31
61	0,62	0,47	1,69	0,03	-0,49	0,31	-1,29	-1,54
62	0,70	0,55	1,74	-0,09	-0,19	0,23	-1,45	-1,70
63	0,94	0,79	2,34	0,26	-0,08	0,61	-1,39	-1,63
64	0,08	-0,07	0,18	-0,65	-1,02	-0,65	-1,14	-1,38
65	1,24	1,09	2,91	0,64	0,53	0,87	-1,22	-1,47
66	-0,16	-0,31	-0,32	-0,83	-0,67	-0,90	-1,36	-1,60
67	0,72	0,57	1,94	-0,15	-0,17	0,51	-1,22	-1,45
68	-0,23	-0,38	-0,25	-0,72	-0,71	-0,94	-1,68	-1,93
69	0,63	0,48	1,90	0,18	-0,33	0,48	-1,49	-1,73
70	0,62	0,48	0,95	-0,52	-0,36	-0,24	-1,33	-1,55
71	0,98	0,83	2,23	0,20	-0,20	0,41	-1,40	-1,65
72	0,58	0,44	1,49	-0,10		0,15	-1,14	-1,38
73	0,78	0,63	1,74	-0,10		0,20	-0,96	-1,21
74	0,94	0,79	1,40	-0,19	-1,24	-0,30	-1,30	-1,54
75	0,81	0,66	0,96	-0,40	-0,69	-0,61	-1,34	-1,58
76	0,60	0,45	1,23	-0,46	-1,66	-0,11	-1,15	-1,39
77	0,97	0,82	2,32	0,14	-0,86	0,57	-1,24	-1,48
80	0,56	0,42	1,51	-0,09		0,17	-1,42	-1,67
81	0,71	0,57	1,95	0,04	-0,75	0,48	-1,50	-1,74
82	0,65	0,51	1,45	-0,23	-1,39	0,05	-1,08	-1,32
83	0,61	0,47	1,22	-0,22		-0,12	-1,10	-1,34
84	0,76	0,61	2,17	0,26	-1,05	0,68	-1,54	-1,78
85	0,76	0,61	1,76	-0,06	-1,43	0,26	-1,56	-1,80
86	0,61	0,46	1,10	-0,46	-0,97	-0,22	-2,27	-2,51
87	0,80	0,65	1,69	-0,05		-0,15	-1,06	-1,30
88	0,69	0,54	1,21	-0,27	-0,57	-0,26	-1,00	-1,25
89	0,54	0,40	1,03	-0,89		-0,28	-1,63	-1,88
90	0,87	0,72	1,77	-0,36	-0,15	0,14	-2,15	-2,39
91	0,48	0,34	1,30	-0,60	-0,70	0,10	-1,24	-1,48
92	0,56	0,41	1,04	-0,33	-1,50	-0,26	-1,39	-1,63
93	0,66	0,51	1,19	-0,41	-1,60	-0,25	-1,10	-1,34
94	0,62	0,47	1,33	-0,42	-1,14	-0,06	-1,09	-1,33
95	0,51	0,37	1,34	-0,40	-0,72	0,08	-1,20	-1,44
96	0,76	0,61	1,90	-0,02		0,34	-1,35	-1,60

## 8.9 Στατιστική ανάλυση υδροχημικών αποτελεσμάτων

### 8.9.1 Έλεγχος διαφοράς δύο μέσων

Θέλουμε να ερευνήσουμε κατά πόσο οι τιμές των συγκεντρώσεων των εξετασθέντων στοιχείων και ιχνοστοιχείων παρουσιάζουν στατιστικές διαφορές μεταξύ των δύο ξηρών και των δύο υγρών περιόδων αντίστοιχα. Θέλουμε να εξετάσουμε δηλαδή, κατά πόσο οι συγκεντρώσεις στις επαναληπτικές δειγματοληψίες ξηρής και υγρής περιόδου έχουν μικρές διαφορές, στατιστικά μη σημαντικές, συγκριτικά με αυτές της αντίστοιχης περιόδου προηγούμενου έτους.

Η μη κανονική κατανομή των παραμέτρων, μειώνει τον αριθμό των ελέγχων που μπορούν να εφαρμοσθούν.

Στη συγκεκριμένη εργασία επιλέχθηκε ο στατιστικός έλεγχος της διαφοράς δύο μέσων σε επίπεδο σημαντικότητας  $\alpha=0,05$  με τις εξής υποθέσεις:

- 1)  $H_0$  (μηδενική υπόθεση): Τα δεδομένα έχουν τον ίδιο μέσο  
 $H_0: \mu_1=\mu_2$
- 2)  $H_1$  (εναλλακτική υπόθεση) : Τα δεδομένα έχουν διαφορετικό μέσο  
 $H_1: \mu_1\neq\mu_2$

Έτσι λοιπόν, η πιθανότητα μετά τον έλεγχο να απορρίψουμε την  $H_0$  ενώ είναι σωστή (σφάλμα τύπου I), ή αντίστροφα να αποδεχτούμε την  $H_0$  ενώ είναι λανθασμένη (σφάλμα τύπου II) είναι 5%. Επίπεδο σημαντικότητας  $\alpha=0,05$  εφαρμόζεται ευρέως στις φυσικο-οικολογικές και υδρολογικές έρευνες.

Γνωρίζοντας τις διακυμάνσεις των δύο πληθυσμών, χρησιμοποιούμε τη στατιστική ελέγχου, μέσω της παραμέτρου  $Z$  που ορίζεται ως (Χαλικιάς 2003, Παπαμιχαήλ & Ταμπουρατζής 1993, Θαλασσινός 1996):

$$Z = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2)}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}}$$

όπου

$\bar{X}_1, \bar{X}_2$  οι αριθμητικοί μέσοι της παραμέτρου 1<sup>ης</sup> και 2<sup>ης</sup> περιόδου αντίστοιχα

$\sigma_1, \sigma_2$  οι διακυμάνσεις της παραμέτρου 1<sup>ης</sup> και 2<sup>ης</sup> περιόδου αντίστοιχα

$n_1, n_2$  το πλήθος της παραμέτρου 1<sup>ης</sup> και 2<sup>ης</sup> περιόδου αντίστοιχα

Όταν η απόλυτη τιμή της παραμέτρου  $|Z|$  είναι μικρότερη της απόλυτης τιμής της τιμής  $Z_{\alpha/2}$  ( $|Z_{\alpha/2}| = 1,96$  για  $\alpha=0,05$ ) αποδεχόμαστε τη μηδενική υπόθεση, δηλαδή ότι οι διαφορές στις τιμές των μέσων όρων μεταξύ των δύο περιόδων είναι, στατιστικά, μη σημαντικές. Στην αντίθετη περίπτωση που  $|Z| > |Z_{\alpha/2}|$  απορρίπτεται η μηδενική υπόθεση, συνεπώς οι διαφορές μεταξύ των μέσων των δύο περιόδων είναι στατιστικά σημαντικές.

Ο στατιστικός έλεγχος που περιγράφηκε συνοπτικά παραπάνω, εφαρμόστηκε μόνο στα δείγματα που υπήρχε επανάληψη. Από τα αποτελέσματα της ανάλυσης (πίνακας 8.44) προκύπτει ότι οι διαφορές μεταξύ των μέσων της ξηρής περιόδου είναι, στατιστικά μη σημαντικές σε επίπεδο  $\alpha=5\%$ , με εξαίρεση τους μέσους των συγκεντρώσεων οξυανθρακικών, οι οποίες όμως διαφέρουν ελάχιστα.

Μη σημαντικές διαφορές παρατηρούνται επίσης στο σύνολο των παραμέτρων μεταξύ των μέσων της 1<sup>ης</sup> και 2<sup>ης</sup> υγρής περιόδου με εξαίρεση τα θεϊκά ιόντα όπου παρατηρείται σαφής μείωσή τους. Πιθανή αιτία είναι ο πλεονάζων υετός τη 2<sup>η</sup> επαναληπτική υγρή περίοδο (Άνοιξη 2007), σε συνδυασμό με την παρεμπόδιση

εφαρμογής θειούχων λιπάνσεων των καλλιεργειών στην ευρύτερη περιοχή λόγω του άστατου καιρού. Τα κατακρημνίσματα το Μάρτιο του 2007 ήταν 60mm σε αντίθεση με το Μάρτιο 2006 που ήταν 37,56 mm (Μετεωρολογικοί Σταθμοί Διεθνούς Αερολιμένα Αθηνών: Σπάτα, Παλλήνη, Κορωπί, Μαρκόπουλο και Γλυκά Νερά).

**Πίνακας 8.44:** Τιμές της παραμέτρου Z για το στατιστικό έλεγχο διαφορών των δύο μέσων μεταξύ των επαναληπτικών δειγματοληψιών νερού ( $\alpha=0,05$ ).

Στοιχείο	1 <sup>η</sup> ξηρή και 2 <sup>η</sup> ξηρή	1 <sup>η</sup> υγρή και 2 <sup>η</sup> υγρή
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	1,990	-0,561
Ca <sup>2+</sup>	-0,287	0,201
Mg <sup>2+</sup>	1,204	-1,025
Cl <sup>-</sup>	0,723	-0,461
Na <sup>+</sup>	0,897	-1,463
K <sup>+</sup>	1,835	-1,242
SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	0,768	-2,787
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-0,406	0,259
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	-1,590	-0,086
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	-0,054	0,139
<b>Z<sub>α/2</sub> = 1,96 (α=0,05)</b>		

**Πίνακας 8.45** Τιμές στατικού ελέγχου Z για τη διαφορά των δύο μέσων βαρέων μετάλλων μεταξύ των συγκεντρώσεων στα ύδατα και των υδατοδιαλυτών συγκεντρώσεων στα εδάφη ( $\alpha=0,05$ ).

Στοιχείο	Ύδατα - Εδάφη (υδατοδιαλυτά)
<b>Fe</b>	12,18
<b>Mn</b>	3,29
<b>Cu</b>	-5,8
<b>Zn</b>	2,28
<b>Cd</b>	-0,18
<b>Pb</b>	3,31
<b>Ni</b>	4,25
<b>Co</b>	2,41
<b>Cr</b>	1,497
<b>Sr</b>	2,97
<b>Z<sub>α/2</sub> = 1,96 (α=0,05)</b>	

Έλεγχος της διαφοράς των δύο μέσων έγινε και μεταξύ των τιμών των βαρέων μετάλλων στα ύδατα σε σύγκριση με τις αντίστοιχες υδατοδιαλυτές συγκεντρώσεις στα εδάφη, εφόσον αυτές είναι οι κατεξοχήν κινητές κι εκπλύσιμες ποσότητες που μπορούν



να φθάσουν στον υπόγειο υδροφόρο. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον πίνακα 8.45 και δείχνουν ότι μόνο στο κάδμιο και το χρώμιο δεν υπάρχει μη σημαντική στατιστική διαφορά.

## 8.9.2 Ανάλυση συσχέτισης

### 8.9.2.1 Υπόγεια νερά

Οι συντελεστές συσχέτισης είναι ο απλούστερος τρόπος συσχετισμού δεδομένων πολλών στοιχείων και μας δείχνουν ανάλογες ή αντιστρόφως ανάλογες σχέσεις μεταξύ των στοιχείων και των παραμέτρων. Οι τιμές τους κυμαίνονται από -1 έως +1. Καλές πληροφορίες στοιχείων σύγκρισης δίνουν οι τιμές μεταξύ 0,75 και 1 (πολύ καλή έως τέλεια συσχέτιση) και από -0,75 έως -1 (πολύ καλή έως τέλεια αντιστρόφως ανάλογη σχέση). Στην παρούσα έρευνα αξιολογήθηκαν οι δείκτες που ξεπερνούν το  $|0,70|$ .

Οι πίνακες συσχέτισης των φυσικοχημικών παραμέτρων και στοιχείων της ξηρής και υγρής περιόδου των υπόγειων νερών της περιοχής έρευνας, εξήχθησαν με τη βοήθεια του προγράμματος SPSS (Πίνακες 8.46 και 8.47). Σύγκριση μεταξύ των συντελεστών συσχέτισης της ξηρής και υγρής περιόδου δεν μπορεί να γίνει λόγω απουσίας πολλών στοιχείων και ιχνοστοιχείων στην υγρή περίοδο. Τα στοιχεία  $\text{SiO}_2$ , Br, I, F και όλα τα βαρέα μέταλλα μετρήθηκαν μόνο την ξηρή περίοδο λόγω οικονομικής δυσκολίας επανάληψης την υγρή περίοδο.

Πολλοί συντελεστές συσχέτισης που βρέθηκαν μεγαλύτεροι του 0,75 στα υπόγεια νερά ήταν αναμενόμενοι. Αυτοί αφορούν τις ακόλουθες θεωρίες:

- Το Cl συνυπάρχει στη φύση με το Na. Στην περιοχή έρευνας τα στοιχεία αυτά παρουσιάζουν συντελεστές συσχέτισης 0,78 & 0,86 στην ξηρή και υγρή περίοδο αντίστοιχα. Η παρουσία τους αποδίδεται στην ύπαρξη υπολειμματικών εβαποριτικών αλάτων και κυρίως αλύτη (κεφάλαιο 8.8) στο γεωλογικό υπόβαθρο της περιοχής.
- Μεγάλη ποσότητα Cl προέρχεται από πετρώματα στα οποία υπάρχει και το Mg (συντελεστές συσχέτισης 0,78 & 0,74 στην ξηρή και υγρή περίοδο αντίστοιχα). Στο κεφάλαιο 8.8 αποδείχτηκε η προέλευση των υπόγειων υδάτων από διάλυση αλύτη κατά 100% και δολομίτη κατά 87%.
- Στην EC συνεισφέρουν τα στοιχεία με τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις στα υπόγεια νερά της περιοχής, δηλαδή το Cl, το  $\text{Na}^+$  και τα  $\text{SO}_4^-$ , γι αυτό και παρουσιάζει μεγάλους συντελεστές συσχέτισης με αυτά τα στοιχεία και στις δυο περιόδους δειγματοληψίας (Πίνακες 8.46 και 8.47).
- Το Br συνυπάρχει στην φύση με το I (0,98 συντελεστής συσχέτισης). Η σχεδόν τέλεια συσχέτισή τους αποδίδεται κυρίως στην παρουσία της οργανικής ύλης που συνυπάρχει εντός των Νεογενών σχηματισμών, χωρίς να αποκλείονται και οι ανθρωπογενείς επιδράσεις, όπως η χρήση διαφόρων φυτοφαρμάκων (Kabata-Pendias and Pendias, 1992).
- Η αναλογική σχέση των  $\text{Ca}^{2+}$  και  $\text{NO}_3^-$  με υψηλό συντελεστή συσχέτισης (0,80 την ξηρή περίοδο και 0,79 την υγρή) αποδίδεται του μεν ασβεστίου κυρίως σε γεωγενείς παράγοντες, των δε νιτρικών αποκλειστικά σε ανθρωπογενείς επιδράσεις. Επίσης μπορεί η παρουσία τους να σχετίζεται και σε προσθήκη λιπασμάτων κι εδαφοβελτιωτικών. Στη σύνθεση πολλών αζωτούχων λιπασμάτων υπάρχει και το ασβέστιο με διάφορες μορφές όπως νιτρική αμμωνία με ασβέστη ANL, ammoniated ordinary superphosphate, calcium nitrate, calcium Cyanamid κλπ. (Tisdale and Nelson, 1975).

**Πίνακας 8.46:** Συντελεστές συσχέτισης των φυσικοχημικών παραμέτρων και στοιχείων των υπόγειων νερών της ξηρής περιόδου

	Cl	PO <sub>4</sub>	SO <sub>4</sub>	Na	K	Ca	Mg	HCO <sub>3</sub>	NO <sub>3</sub>	NH <sub>4</sub>	EC	Br	I	F	Sr	Fe	Cu	Zn	Cd	Pb	Ni	Mn	Cr	SiO <sub>2</sub>
Cl	1																							
PO <sub>4</sub>	0,28	1																						
SO <sub>4</sub>	<b>0,67</b>	0,18	1																					
Na	<b>0,78</b>	0,23	0,55	1																				
K	0,27	0,11	0,36	0,39	1																			
Ca	0,54	-0,03	0,61	0,27	0,02	1																		
Mg	<b>0,78</b>	0,45	0,57	0,49	0,15	0,39	1																	
HCO <sub>3</sub>	<b>0,54</b>	0,24	0,39	0,65	0,26	0,34	0,60	1																
NO <sub>3</sub>	0,31	-0,03	0,63	0,16	-0,04	<b>0,80</b>	0,26	0,13	1															
NH <sub>4</sub>	0,50	0,19	0,67	0,31	0,19	0,62	0,47	0,42	0,52	1														
EC	<b>0,90</b>	0,26	<b>0,80</b>	<b>0,72</b>	0,27	0,50	0,66	0,41	0,39	0,58	1													
Br	0,21	0,64	0,18	0,24	0,36	-0,13	0,22	0,19	-0,12	0,27	0,18	1												
I	0,20	0,64	0,17	0,23	0,36	-0,12	0,22	0,15	-0,10	0,25	0,17	0,98	1											
F	0,55	0,22	0,50	0,57	0,28	0,12	0,44	0,41	0,14	0,34	0,54	0,29	0,30	1										
Sr	0,35	-0,15	0,26	0,27	-0,13	0,19	0,17	0,09	0,13	0,15	0,43	-0,26	-0,30	0,07	1									
Fe	-0,13	-0,19	-0,07	-0,17	-0,07	-0,20	-0,15	-0,15	-0,10	-0,05	-0,02	-0,20	-0,23	-0,12	0,40	1								
Cu	-0,26	-0,26	-0,26	-0,23	-0,22	-0,24	-0,21	-0,13	-0,18	-0,25	-0,23	-0,33	-0,38	-0,31	0,51	0,67	1							
Zn	0,03	-0,06	0,04	0,06	-0,04	-0,04	0,18	0,18	-0,06	0,12	0,03	0,00	-0,01	0,07	-0,19	-0,13	-0,22	1						
Cd	-0,22	-0,28	-0,29	-0,15	-0,21	-0,19	-0,24	-0,08	-0,15	-0,26	-0,19	-0,35	-0,41	-0,31	0,51	0,51	<b>0,87</b>	-0,21	1					
Pb	-0,11	-0,19	-0,18	-0,08	-0,14	-0,10	-0,16	-0,05	-0,10	-0,20	-0,11	-0,29	-0,31	-0,09	0,41	0,37	0,58	-0,17	0,63	1				
Ni	-0,14	-0,20	-0,13	-0,06	-0,19	-0,15	-0,12	0,03	-0,10	-0,10	-0,13	-0,27	-0,32	-0,13	0,39	0,48	<b>0,73</b>	-0,17	0,65	0,53	1			
Mn	-0,24	-0,27	-0,17	-0,17	-0,19	-0,25	-0,23	-0,17	-0,15	-0,19	-0,16	-0,23	-0,29	-0,24	0,50	0,56	<b>0,87</b>	-0,16	<b>0,81</b>	0,47	0,61	1		
Cr	-0,14	-0,17	-0,27	-0,23	-0,12	-0,06	-0,09	-0,10	-0,06	-0,20	-0,20	-0,18	-0,19	-0,37	0,23	0,16	0,49	-0,11	0,61	0,40	0,32	0,42	1	
SiO <sub>2</sub>	0,10	0,16	0,06	0,13	0,01	0,00	0,22	0,20	0,07	0,18	0,13	0,10	0,15	0,15	-0,05	-0,04	-0,10	0,05	-0,04	-0,11	-0,02	-0,07	-0,01	1

- Αξιοσημείωτοι συντελεστές συσχέτισης παρατηρήθηκαν μεταξύ των βαρέων μετάλλων Cu-Cd, Cu-Mn, Cu-Ni και Cd-Mn (πίνακας 8.46). Η σχέση τους αποδίδεται κυρίως σε γεωλογικούς παράγοντες, όπως η ύπαρξη μικρών εμφανίσεων μικτών θειούχων, στην παρουσία των σχιστόλιθων και των οφιολιθικών σωμάτων. Η έντονη παρουσία του Cu αποδίδεται εν μέρει και σε υπερβολική εφαρμογή αγροχημικών, όπως είναι η χρήση θειούχου χαλκού στην καλλιέργεια της αμπέλου, με αποτέλεσμα έκπλυση της περίσσειας προς τον υπόγειο υδροφόρο (Kabata-Pendias and Mukherjee 2007, Eckel et al. 1995, Siegel 2002, Mielke et al. 2002, Kabata-Pendias and Pendias 1992).

**Πίνακας 8.47:** Συντελεστές συσχέτισης των φυσικοχημικών παραμέτρων και στοιχείων των υπόγειων νερών της υγρής περιόδου

	Cl	PO <sub>4</sub>	SO <sub>4</sub>	Na	K	Ca	Mg	HCO <sub>3</sub>	NO <sub>3</sub>	NH <sub>4</sub>	EC
Cl	1										
PO <sub>4</sub>	0,04	1									
SO <sub>4</sub>	0,57	0,11	1								
Na	<b>0,86</b>	0,05	0,6	1							
K	0,1	0,48	0,19	0,18	1						
Ca	0,4	0,12	0,45	0,09	-0,1	1					
Mg	<b>0,74</b>	0,05	0,55	0,53	-0,06	0,32	1				
HCO <sub>3</sub>	0,51	0,29	0,29	0,67	0,17	0,05	0,5	1			
NO <sub>3</sub>	0,24	0,09	0,39	0,04	-0,1	<b>0,79</b>	0,28	-0,03	1		
NH <sub>4</sub>	<b>0,63</b>	0,36	0,49	0,42	0,03	<b>0,55</b>	<b>0,76</b>	0,46	0,43	1	
EC	<b>0,93</b>	0,09	<b>0,73</b>	<b>0,83</b>	0,12	0,49	<b>0,71</b>	0,51	0,41	0,65	1

### 8.9.2.2 Επιφανειακά νερά

Για την εξαγωγή των συντελεστών συσχέτισης στα επιφανειακά νερά ελήφθησαν στο σύνολο των 8 ποταμών όλες οι παράμετροι, τα στοιχεία και τα βαρέα μέταλλα. Οι συντελεστές συσχέτισης φαίνονται στον πίνακα 8.48 με τις τιμές που υπερβαίνουν το 0,75 να είναι σημειωμένες.

Στα επιφανειακά νερά παρατηρούνται κάποιες διαφοροποιήσεις συγκριτικά με τα υπόγεια. Τα συμπεράσματα που εξάγονται είναι τα ακόλουθα:

- ◆ Το Νάτριο στα επιφανειακά νερά συνυπάρχει με το K (0,96 συντελεστής συσχέτισης) σε αντίθεση με τα υπόγεια που συνυπήρχε με το Cl. Καλή συσχέτιση μεταξύ των 2 στοιχείων βρέθηκε και στα εδάφη, συνεπώς μπορεί να αποδοθεί σε εφαρμογή λιπασμάτων. Το κάλιο (K) αποτελεί ένα από τα τρία κύρια συστατικά των λιπασμάτων (N-P-K) ενώ το Na πολλές φορές βρίσκεται στη σύνθεση αυτών με τη μορφή NaNO<sub>3</sub>.
- ◆ Το Br όπως και στα υπόγεια νερά συνυπάρχει με το I (0,94) λόγω της παρουσίας οργανικής ύλης εντός των Νεογενών σχηματισμών, ή λόγω εφαρμογής φυτοφαρμάκων (Kabata-Pendias and Pendias, 1992).
- ◆ Στην αύξηση της Ηλεκτρικής Αγωγιμότητας συνεισφέρουν λιγότερο τα Na<sup>+</sup> και SO<sub>4</sub><sup>-</sup> (σε αντίθεση με τα υπόγεια νερά) και περισσότερο τα Cl<sup>-</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> και PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>. Ιδιαίτερα τα φωσφορικά ιόντα αποτελούν κύριο συστατικό των απορρυπαντικών όσο και των φωσφορικών λιπασμάτων, κάτι που ενισχύει την υποψία ρύπανσης των επιφανειακών υδάτων.
- ◆ Τα HCO<sub>3</sub> συσχετίζονται με τα Ca<sup>2+</sup> και Mg<sup>2+</sup> (0,84), με το SiO<sub>2</sub> (0,86) προερχόμενα πιθανώς από διάλυση ίδιων πετρωμάτων, αλλά και με τα χλώρια Cl<sup>-</sup> και τα φωσφορικά ιόντα PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> (0,79). Προφανώς οι συσχετίσεις αυτές οφείλονται στη

διάβρωση των αυτόχθονων εδαφών που έχουν δεχθεί εφαρμογή φωσφορικών λιπασμάτων.

- ◆ Οι συγκεντρώσεις αμμωνιακών ιόντων  $\text{NH}_4^+$  στην περιοχή είναι αρκετά υψηλές συντελώντας στην αύξηση της ολικής σκληρότητας. Συσχετίζονται κατά 0,77 με τα φωσφορικά ιόντα  $\text{PO}_4^{3-}$  και κατά 0,78 με το  $\text{Ca}^{2+}$ . Η σχέση αυτή αποδίδεται σε μεγάλο ποσοστό στην εφαρμογή εδαφοβελτιωτικών, αζωτούχων και φωσφορικών λιπασμάτων (Tisdale and Nelson, 1975).
- ◆ Τα κυανίδια CN που παρατηρούνται σε απόβλητα συσχετίζονται πολύ καλά (0,88) με τα φωσφορικά ιόντα  $\text{PO}_4^{3-}$ , με το  $\text{Ca}^{2+}$  (0,88) και τα  $\text{HCO}_3^-$  (0,76), κάτι που αποδίδεται σε διάβρωση εδαφών που έχουν δεχθεί απόβλητα από αστικά λύματα και από βιομηχανίες.
- ◆ Η κατανάλωση  $\text{KMnO}_4$  που δείχνει την έλλειψη διαλυμένου οξυγόνου συσχετίζεται με τις συγκεντρώσεις θεικών (0,79). Τα  $\text{SO}_4^{2-}$  συσχετίζονται με μεγαλύτερους συντελεστές με το  $\text{Na}^+$  και  $\text{K}^+$  (0,93 και 0,82 αντίστοιχα), συνεπώς μέρος των θεικών ιόντων αποδίδεται εκτός της διάλυσης εβαποριτών (κεφ. 8.8, Stamatis et al., 2006) και σε παράγοντες ρύπανσης, που μειώνουν το οξυγόνο όπως τα λιπάσματα που περιέχουν στην σύνθεσή τους τη θεική ρίζα και τα ιόντα νατρίου και καλίου.
- ◆ Τα βαρέα μέταλλα Cr και Zn παρουσιάζουν συντελεστή συσχέτισης 0,78. Η συνύπαρξή τους αποδίδεται κυρίως σε γεωγενείς παράγοντες στην παρουσία των μικτών θειούχων και την παρουσία των οφιολιθικών σωμάτων.
- ◆ Ο Zn συνυπάρχει και με το Ni (0,81 συντ. συσχέτισης) και αποδίδεται κυρίως σε γεωγενείς παράγοντες δηλ. στην παρουσία μικτών θειούχων ορυκτών (έκπλυση μέσω των εδαφών προς τα ποτάμια).
- ◆ Ο Pb δείχνει να είναι αυξημένος όταν οι συγκεντρώσεις Br, I και Cr είναι μειωμένες και αντίστροφα. Οι συντελεστές συσχέτισης είναι αρκετά υψηλοί (-0,89 , -0,87 και -0,82 αντίστοιχα) και αποδίδονται στην ύπαρξη αυτών των στοιχείων στα μικτά θειούχα, στα οφιολιθικά σώματα και τους σχιστόλιθους. Σε μικρό ποσοστό μπορεί να αποδοθεί στη χρήση φυτοφαρμάκων και λιπασμάτων (Kabata-Pendias and Pendias 1992 , Siegel 2002).
- ◆ Τέλος, η παροχή Q αναμενόταν να έχει υψηλούς αρνητικούς συντελεστές συσχέτισης με τα περισσότερα ρυπαντικά στοιχεία και τα TDS, εντούτοις, το βρόχινο νερό δείχνει να αραιώνει μόνο τις ενώσεις των χλωρίων (-0,75) και τα βαρέα μέταλλα Ni (-0,75) και Mn(-0,79). Αυτό συμβαίνει διότι η παροχή στα ποτάμια δεν αυξάνεται αποκλειστικά με το καθαρό νερό της βροχής. Κρυφά λύματα από τις μικρές βιοτεχνικές μονάδες της περιοχής και αστικές περιοχές που στερούνται αποχετευτικού δικτύου αυξάνουν την παροχή, αλλά ταυτόχρονα και πολλά ρυπαντικά στοιχεία εφόσον τα μεταφέρουν.

Πίνακας 8.48: Συντελεστές συσχέτισης των επιφανειακών νερών

	Cl	PO <sub>4</sub>	SO <sub>4</sub>	Na	K	Ca	Mg	HCO <sub>3</sub>	NO <sub>3</sub>	NH <sub>4</sub>	EC	Br	I	F	CN	hydraz.	KMnO <sub>4</sub>	phenols	Sr	Fe	Cu	Zn	Cd	Pb	Ni	Mn	Cr	SiO <sub>2</sub>	Q	TDS	
Cl	1																														
PO <sub>4</sub>	0,53	1																													
SO <sub>4</sub>	0,56	-0,05	1																												
Na	0,47	-0,31	<b>0,93</b>	1																											
K	0,43	-0,47	<b>0,82</b>	<b>0,96</b>	1																										
Ca	0,65	<b>0,93</b>	-0,06	-0,29	-0,39	1																									
Mg	0,61	0,58	0,45	0,28	0,14	0,54	1																								
HCO <sub>3</sub>	<b>0,79</b>	<b>0,79</b>	0,39	0,19	0,03	<b>0,84</b>	<b>0,84</b>	1																							
NO <sub>3</sub>	-0,05	0,37	-0,62	-0,61	-0,56	0,35	0,35	0,19	1																						
NH <sub>4</sub>	0,17	<b>0,77</b>	-0,39	-0,58	-0,69	<b>0,78</b>	0,54	0,62	0,66	1																					
EC	<b>0,87</b>	<b>0,78</b>	0,47	0,24	0,12	0,81	<b>0,85</b>	<b>0,95</b>	0,16	<b>0,51</b>	1																				
Br	0,40	<b>0,58</b>	0,30	0,07	-0,10	0,53	0,70	0,64	0,05	0,62	0,65	1																			
I	0,28	0,37	0,31	0,17	0,01	0,30	0,55	0,46	-0,07	0,46	0,45	<b>0,94</b>	1																		
F	-0,20	-0,60	0,52	0,66	0,58	-0,59	-0,03	-0,14	-0,52	-0,47	-0,28	-0,11	0,09	1																	
CN	0,65	<b>0,88</b>	0,21	-0,10	-0,23	<b>0,88</b>	0,46	<b>0,76</b>	-0,01	0,51	<b>0,81</b>	0,54	0,30	-0,53	1																
hydrazines	-0,14	0,22	-0,35	-0,37	-0,46	0,29	-0,29	0,06	-0,16	0,39	-0,12	0,27	0,37	-0,01	0,17	1															
KMnO <sub>4</sub>	0,44	0,30	<b>0,79</b>	0,56	0,37	0,23	0,33	0,50	-0,66	-0,13	0,50	0,34	0,27	0,32	0,58	-0,00	1														
phenols	-0,14	-0,35	-0,04	0,01	0,08	-0,18	-0,72	-0,40	-0,69	-0,37	-0,40	-0,18	-0,07	0,10	-0,05	0,58	0,10	1													
Sr	<b>0,57</b>	0,06	0,65	0,71	0,62	0,10	<b>0,71</b>	0,59	0,04	0,00	<b>0,52</b>	0,23	0,25	0,51	-0,00	-0,35	0,32	-0,53	1												
Fe	0,38	0,50	-0,46	-0,37	-0,32	0,57	0,05	0,32	0,58	0,38	0,27	-0,20	-0,27	-0,57	0,28	0,14	-0,36	-0,21	0,05	1											
Cu	-0,46	-0,43	-0,09	0,13	0,12	-0,62	-0,40	-0,50	-0,04	-0,54	-0,57	-0,70	-0,54	0,38	-0,57	-0,27	-0,13	-0,19	0,08	0,06	1										
Zn	0,35	0,53	0,52	0,18	0,00	0,44	0,47	<b>0,58</b>	-0,26	0,19	<b>0,60</b>	0,37	0,14	-0,03	<b>0,73</b>	-0,16	<b>0,84</b>	-0,18	0,15	-0,25	-0,27	1									
Cd	0,04	0,29	-0,03	-0,10	-0,23	0,26	-0,11	0,14	-0,34	0,28	0,06	<b>0,54</b>	0,67	0,02	0,29	<b>0,87</b>	0,23	<b>0,51</b>	-0,23	-0,04	-0,31	-0,03	1								
Pb	-0,14	-0,54	-0,24	-0,01	0,23	-0,42	-0,60	-0,57	0,02	-0,62	-0,48	-0,89	-0,87	-0,12	-0,45	-0,41	-0,45	0,19	-0,22	0,28	0,43	-0,45	-0,61	1							
Ni	0,54	0,49	0,36	0,09	0,03	0,62	0,39	0,65	-0,12	0,25	0,65	0,18	-0,11	-0,17	<b>0,73</b>	-0,11	0,62	-0,03	0,17	0,06	-0,46	<b>0,81</b>	-0,19	-0,15	1						
Mn	0,60	-0,22	0,53	0,56	0,68	0,07	0,01	0,17	-0,49	-0,34	0,26	0,04	0,04	0,12	0,12	-0,06	0,24	0,49	0,24	-0,10	-0,48	0,00	-0,00	0,24	0,34	1					
Cr	0,20	<b>0,58</b>	0,40	0,12	-0,16	0,44	0,46	0,60	-0,26	0,39	0,50	0,60	0,52	0,18	0,62	0,32	0,79	-0,12	0,21	-0,23	-0,19	<b>0,78</b>	0,47	-0,82	0,46	-0,24	1				
SiO <sub>2</sub>	0,50	<b>0,85</b>	0,13	-0,06	-0,26	<b>0,74</b>	<b>0,85</b>	<b>0,86</b>	0,48	<b>0,75</b>	<b>0,80</b>	0,64	0,50	-0,23	0,62	0,02	0,29	-0,69	0,48	0,36	-0,25	0,47	0,13	-0,67	0,34	-0,33	0,62	1			
Q	-0,75	-0,33	-0,45	-0,30	-0,30	-0,57	-0,18	-0,55	0,41	-0,06	-0,60	-0,25	-0,10	0,15	-0,66	-0,17	-0,54	-0,42	-0,13	-0,11	0,64	-0,45	-0,18	0,06	-0,75	-0,79	-0,23	-0,08	1		
TDS	<b>0,91</b>	0,61	0,66	0,50	0,37	0,66	<b>0,82</b>	<b>0,93</b>	-0,04	0,32	<b>0,95</b>	0,58	0,44	-0,00	0,68	-0,12	0,61	-0,32	0,71	0,18	-0,45	<b>0,57</b>	0,07	-0,45	<b>0,62</b>	0,40	0,51	<b>0,70</b>	-0,64	1	

### 8.9.3 Ανάλυση παραγόντων R-τύπου

Για να ανιχνευθούν οι σχέσεις που παρατηρούνται μεταξύ των διαφόρων στοιχείων και παραμέτρων χρησιμοποιήθηκε η ανάλυση παραγόντων που προέκυψε με το στατιστικό πρόγραμμα SPSS. Η μέθοδος συγκεντρώνει πειραματικά δεδομένα σε ομάδες οι οποίες ονομάζονται παράγοντες (factors). Τα φορτία παραγόντων δείχνουν πόσο σημαντική είναι η συμμετοχή της μεταβλητής στον αντίστοιχο παράγοντα. Μια μεταβλητή μπορεί να απαντά σε έναν ή περισσότερους παράγοντες (Χαλικιάς, 2003).

Υπάρχει περίπτωση με την εφαρμογή της μεθόδου να εμφανιστούν κάποιοι συσχετισμοί που να μην εξηγούνται φυσικά. Η ασφαλής ερμηνεία των αποτελεσμάτων που προκύπτουν απαιτεί πολύ καλή γνώση της λιθολογίας, γεωλογίας αλλά και των ανθρωπογενών παραγόντων της περιοχής έρευνας (Αλεξιάκης, 2002).

Ο δείκτης KMO (Kaiser-Meyer-Olkin) εξετάζει την αρτιότητα των συσχετίσεων των παραμέτρων. Τιμή μεγαλύτερη του 0,5 δίνει ικανοποιητική ανάλυση παραγόντων.

Οι πίνακες που εξάγονται μας δίνουν ομάδες παραγόντων που έχουν κάποια σχέση μεταξύ τους. Βάζοντας τις αντίστοιχες τιμές παραγόντων που δίνει το πρόγραμμα μπορούμε να φτιάξουμε χάρτη ισοπεριεκτικών καμπυλών με τους παράγοντες αυτούς. Ο συνδυασμός του πίνακα με τις ομάδες παραγόντων και της χωρικής κατανομής αυτών μας οδηγεί σε χρήσιμα συμπεράσματα για τη συνύπαρξη στοιχείων, την προέλευση αυτών, τυχόν ρύπανση κλπ.

#### 8.9.3.1 Υπόγεια νερά

Στα υπόγεια νερά ξεχωρίσαμε την ξηρή περίοδο με την υγρή. Όπως και στους συντελεστές συσχέτισης, την υγρή περίοδο απουσιάζουν τα στοιχεία SiO<sub>2</sub>, Br, I, F και όλα τα βαρέα μέταλλα (Fe, Mn, Cu, Zn, Cd, Pb, Ni, Co, Cr και Sr) λόγω οικονομικής δυσκολίας επανάληψης της μεθόδου.

**α) Ξηρή περίοδος:** Μετά την εφαρμογή της ανάλυσης παραγόντων και τον έλεγχο του δείκτη KMO (>0,5) προέκυψαν κατά την ξηρή περίοδο 5 ομάδες όπως φαίνονται στον πίνακα 8.49.

✚ Στην **1η ομάδα** με υψηλές φορτίσεις συνδέονται τα επτά βαρέα μεταλλικά ιχνοστοιχεία Sr, Fe, Cu, Cd, Pb Ni και Mn που απαντώνται στο γεωλογικό περιβάλλον της περιοχής. Η παρουσία τους σχετίζεται με τις κατά τόπους μικρές εμφανίσεις των μικτών θειούχων στα δυτικά περιθώρια της περιοχής, επίσης στους σχιστόλιθους και τα διάσπαρτα οφιολιθικά σώματα.

Σημαντική πηγή τροφοδοσίας στα προαναφερόμενα βαρέα μέταλλα αποτελεί και η ύπαρξη της οργανικής ύλης που συνυπάρχει εντός των Νεογενών σχηματισμών. Το στρόντιο αποδίδεται κυρίως στην παρουσία του σελεστίνης (SrSO<sub>4</sub>) και του στρόντιανίτη (SrCO<sub>3</sub>) που συνυπάρχουν στους εβαπορίτες των Νεογενών σχηματισμών. Η κατείσδυση των βαρέων μετάλλων Fe, Cu, Cd, Pb Ni και Mn που προέρχονται από χρήση φυτοφαρμάκων και γενικότερα αγροχημικών (Kabata-Pendias and Mukherjee 2007, Siegel 2002, Mielke et al. 2002, Eckel 2005, Kabata-Pendias and Pendias 1992) μέσω των τεταρτογενών και νεογενών σχηματισμών ενισχύει την ύπαρξη αυτού του παράγοντα.

Τα τέσσερα αυτά στοιχεία εμφανίζουν μεγάλα φορτία στην 1<sup>η</sup> ομάδα κι εξηγούν το 31% της ολικής διακύμανσης. Απ' τη χωρική κατανομή αυτού του παράγοντα (σχήμα 8.202) παρατηρούμε να επικρατεί με φορτία υψηλής σημαντικότητας (>1) σε καλλιεργήσιμες περιοχές μεταξύ του Κορωπίου, της Παιανίας, των Σπάτων, του Μαρκόπουλου και της Βραυρώνας. Προφανώς ο υπόγειος υδροφόρος επηρεάζεται σημαντικά από την εφαρμογή αγροχημικών στις ανάντη καλλιέργειες.

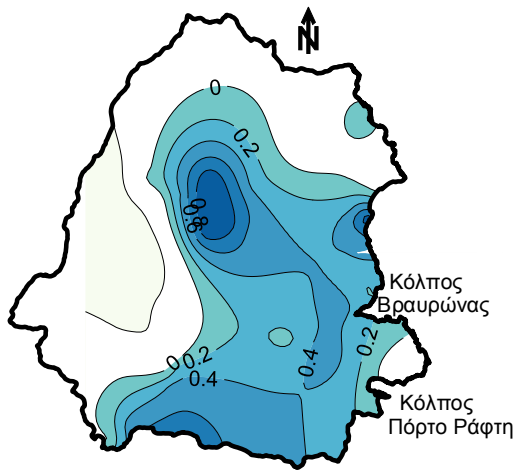
**Πίνακας 8.49:** Παράγοντες αποτελεσμάτων υπόγειων νερών ξηρής περιόδου.

Στοιχείο	1 <sup>ος</sup> Παράγων	2 <sup>ος</sup> Παράγων	3 <sup>ος</sup> Παράγων	4 <sup>ος</sup> Παράγων	5 <sup>ος</sup> Παράγων
Cl	-0,03	<b>0,58</b>	<b>0,59</b>	0,36	0,11
PO <sub>4</sub>	-0,13	0,11	0,04	0,18	<b>0,79</b>
SO <sub>4</sub>	-0,07	<b>0,72</b>	<b>0,53</b>	0,07	0,11
Na	-0,02	0,23	<b>0,73</b>	0,45	0,06
K	-0,17	-0,04	<b>0,56</b>	0,02	0,18
T.H.	-0,13	<b>0,85</b>	0,16	0,41	0,05
P.H.	0,01	0,23	0,26	0,87	0,12
Ca	-0,14	<b>0,90</b>	-0,01	0,13	-0,18
Mg	-0,05	<b>0,52</b>	0,27	<b>0,55</b>	0,26
HCO <sub>3</sub>	0,01	0,23	0,26	<b>0,87</b>	0,12
NO <sub>3</sub>	-0,1	<b>0,85</b>	-0,04	-0,11	-0,12
NH <sub>4</sub>	-0,08	<b>0,69</b>	0,2	0,16	0,27
EC	0,03	<b>0,62</b>	<b>0,66</b>	0,17	0,11
Br	-0,21	-0,04	0,18	0,04	<b>0,91</b>
I	-0,27	-0,04	0,18	0	<b>0,89</b>
F	-0,14	0,13	<b>0,71</b>	0,22	0,16
Sr	<b>0,68</b>	0,32	0,31	-0,02	-0,19
Fe	<b>0,7</b>	-0,09	0,09	-0,22	0
Cu	<b>0,92</b>	-0,15	-0,18	-0,06	-0,11
Zn	-0,27	-0,13	-0,05	0,45	-0,1
Cd	<b>0,87</b>	-0,12	-0,21	0,01	-0,18
Pb	<b>0,66</b>	-0,09	-0,05	0,02	-0,2
Ni	<b>0,77</b>	-0,1	-0,07	0,09	-0,1
Mn	<b>0,85</b>	-0,14	-0,09	-0,13	-0,06
Cr	0,49	0,03	-0,44	0,06	-0,08
pH	-0,07	-0,18	0,16	-0,07	0,21
<b>% ολικής διακύμανσης</b>	<b>31,42</b>	<b>17,84</b>	<b>10,27</b>	<b>6,16</b>	<b>5,16</b>

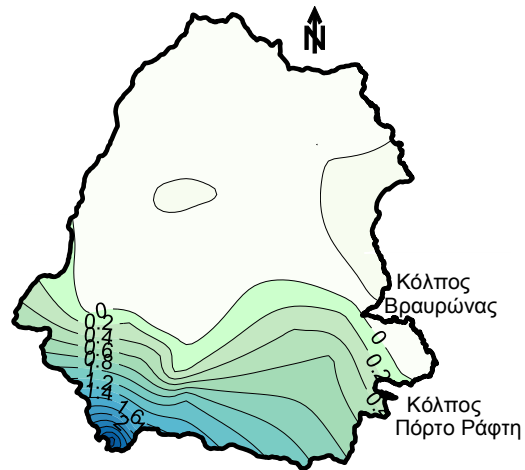
✚ Στην **2<sup>η</sup> ομάδα** με υψηλά φορτία παρουσιάζονται τα στοιχεία Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>=</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> μαζί με την ολική σκληρότητα T.H. και την ηλεκτρική αγωγιμότητα EC στις οποίες συνεισφέρουν σημαντικά. Ο παράγων αυτός σχετίζεται κυρίως με την θαλάσσια διείσδυση στον υδροφόρο ο οποίος έχει υποστεί την υποβάθμιση λόγω εφαρμογής αζωτούχων λιπασμάτων στους ανάντη αγρούς. Ο παράγων αυτός εμφανίζεται με φορτία υψηλής σημαντικότητας (>1) κυρίως στο νότιο τμήμα (σχήμα 8.203), σε περιοχές που έχει διαπιστωθεί η υφαλμύριση του υδροφόρου (Παπασουλούνια, 2005).

✚ Στη **3<sup>η</sup> ομάδα** παραγόντων παρατηρούνται τα στοιχεία Na και F με φορτία μεγαλύτερα του 0,7 καθώς και το Cl με φορτίο 0,59. Ο παράγων αυτός παρατηρείται στο μεγαλύτερο ποσοστό της καλλιεργούμενης έκτασης του κάμπου των Μεσογείων, συμπεριλαμβάνοντας τις περιοχές Παλλήνη, Σπάτα, Παιανία, Κορωπί και Μαρκόπουλο (σχήμα 8.204). Η συνύπαρξη αυτών των στοιχείων αποδίδεται σε γεωγενείς παράγοντες. Μαρτυρούν την παρουσία των υπολειμματικών εβαποριτικών αλάτων εντός των νεογενών σχηματισμών αλλά και την θαλάσσια επίδραση στην παράκτια ζώνη (Stamatis et al., 2006).





**Σχήμα 8.202:** Χωρική κατανομή του 1<sup>ου</sup> παράγοντα της ξηρής περιόδου αντίστοιχα



**Σχήμα 8.203:** Χωρική κατανομή του 2<sup>ου</sup> παράγοντα της ξηρής περιόδου

- ✚ Στη 4<sup>η</sup> ομάδα παραγόντων εμφανίζονται τα οξυανθρακικά ιόντα με το  $Mg^{2+}$ . Η συνύπαρξή τους στα υπόγεια νερά αποδίδεται στη γεωλογία (ασβεστολιθικά πετρώματα και δολομίτες). Η χωρική κατανομή του 4<sup>ου</sup> παράγοντα επικρατεί στην περιοχή του Κορωπίου και της Παιανίας (σχήμα 8.205). Προφανώς οι υδροφόροι της εν λόγω περιοχής τροφοδοτούνται μέσω πλευρικών εισροών από τα μάρμαρα και τους δολομίτες του Υμηττού.



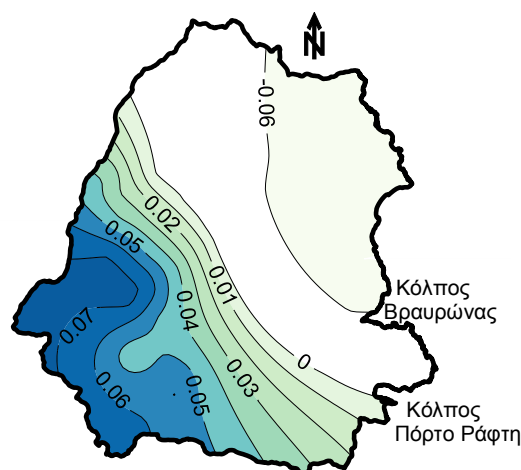
**Σχήμα 8.204:** Χωρική κατανομή του 3<sup>ου</sup> παράγοντα της ξηρής περιόδου αντίστοιχα



**Σχήμα 8.205:** Χωρική κατανομή του 4<sup>ου</sup> παράγοντα της ξηρής περιόδου αντίστοιχα

- ✚ Στην 5<sup>η</sup> ομάδα, παρατηρούνται τα ιχνοστοιχεία Br, I και  $PO_4$ . Η ύπαρξη του Br και του I αποδίδεται κυρίως σε γεωγενείς παράγοντες, όπως η οργανική ύλη στους Νεογενείς σχηματισμούς, ενώ η ύπαρξη των  $PO_4$  σε υπερβολική χρήση φυτοφαρμάκων κυρίως λιπασμάτων (Kabata-Pendias and Pendias, 1992).

Η χωρική κατανομή (σχήμα 8.206) δείχνει την εμφάνιση αυτού του παράγοντα στις καλλιεργήσιμες και αστικές περιοχές του Κορωπίου και της Παιανίας. Η ύπαρξη φωσφορικών ιόντων στα λύματα των μη στεγανών βόθρων λόγω της έλλειψης αποχετευτικού συστήματος δρα αθροιστικά στην εμφάνιση του 5<sup>ου</sup> παράγοντα (Sikora et al., 1976).



Σχήμα 8.206: Χωρική κατανομή του 5<sup>ου</sup> παράγοντα της ξηρής περιόδου

### β) Υγρή περίοδος:

Κατά την υγρή περίοδο παρατηρούνται 4 ομάδες όπως φαίνονται στον πίνακα 8.50.

Πίνακας 8.50: Παράγοντες αποτελεσμάτων υπόγειων νερών υγρής περιόδου

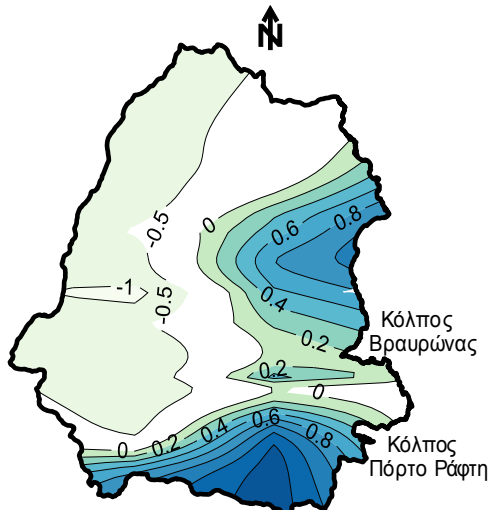
Παράμετρος	1 <sup>ος</sup>	2 <sup>ος</sup>	3 <sup>ος</sup>	4 <sup>ος</sup>
	Παράγων	Παράγων	Παράγων	Παράγων
Cl	<b>0,83</b>	0,29	0,34	0
PO <sub>4</sub>	-0,25	0,18	0,45	<b>0,70</b>
SO <sub>4</sub>	<b>0,73</b>	0,38	0,01	0,26
Na	<b>0,86</b>	-0,06	0,41	0,08
K	0,16	-0,22	0,04	<b>0,86</b>
T.H.	0,43	<b>0,84</b>	0,26	-0,04
P.H.	0,34	-0,03	<b>0,88</b>	0,11
Ca	0,15	0,90	-0,05	0,08
Mg	0,55	0,45	0,48	-0,16
HCO <sub>3</sub>	0,34	-0,03	<b>0,88</b>	0,11
NO <sub>3</sub>	0,09	<b>0,86</b>	-0,14	0,09
NH <sub>4</sub>	0,3	<b>0,65</b>	0,53	0,08
EC	<b>0,83</b>	0,39	0,28	0,1
pH	-0,12	-0,19	0,02	-0,45
% ολικής διακύμανσης	<b>45,36</b>	<b>16,88</b>	<b>10,86</b>	<b>7,33</b>

✚ Η 1<sup>η</sup> ομάδα που εξηγεί πάνω από το 45% της ολικής διακύμανσης συνδέει τα στοιχεία Cl<sup>-</sup>, Na<sup>+</sup> και SO<sub>4</sub><sup>=</sup> κι αντιπροσωπεύει υφάλμυρα νερά (Matthess, 1973). Παρατηρείται κυρίως στο ανατολικό και νοτιοανατολικό τμήμα της περιοχής μεταξύ Άρτεμης, Βραυρώνας, Μαρκόπουλο και Πόρτο Ράφτη (Σχήμα 8.207). Η παρουσία των στοιχείων αυτών στην παράκτια ζώνη συνδυάζεται με την διείσδυση θαλασσινού νερού στον υπόγειο υδροφόρο.

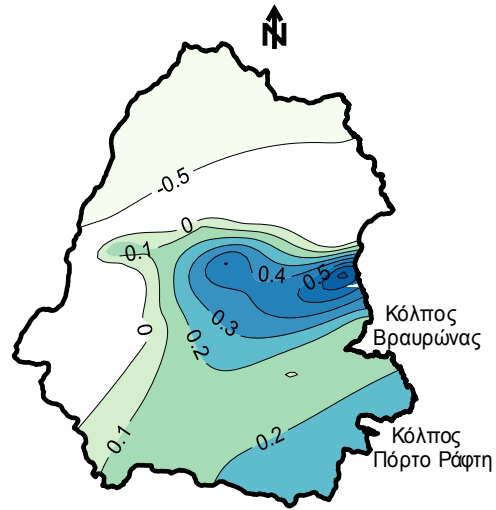
✚ Η 2<sup>η</sup> ομάδα με διακύμανση 16,9% επί της συνολικής συνδέει το Ca<sup>2+</sup> και τα NO<sub>3</sub><sup>-</sup> ιόντα. Η συνύπαρξη των δύο αυτών στοιχείων σε συνδυασμό με τη χωρική κατανομή του παράγοντα (καλλιεργούμενες περιοχές Παλλήνης, Σπάτων, Αρτέμιδος, Κορωπίου και Μαρκόπουλου – σχήμα 8.208) φανερώνει την προσθήκη λιπασμάτων κι εδαφοβελτιωτικών (Tisdale & Nelson, 1975).

Η σχέση μεταξύ νιτρικών και ασβεστίου εξηγείται σαν σχέση ιοανταλλαγής μεταξύ του ιόντος του αμμωνίου που προκύπτει από την υδρόλυση των αμμωνιακών λιπασμάτων και του ασβεστίου που είναι συστατικό των ορυκτών της περιοχής.

Ο παράγοντας αυτός έχει βρεθεί και σε παλαιότερες έρευνες στην περιοχή (Stamatis et al., 2006). Αν και το βρόχινο νερό αραιώνει τις συγκεντρώσεις των ρυπογόνων στοιχείων, ωστόσο βοηθά σημαντικά και στην κατείσδυση αυτών μετά από προσθήκη στον αγρό.



Σχήμα 8.207: Χωρική κατανομή του 1<sup>ου</sup> παράγοντα της υγρής περιόδου αντίστοιχα



Σχήμα 8.208: Χωρική κατανομή του 2<sup>ου</sup> παράγοντα της υγρής περιόδου αντίστοιχα

- Η 3<sup>η</sup> ομάδα παραγόντων περιλαμβάνει τα οξυανθρακικά ιόντα τα οποία είναι γεωγενούς προέλευσης. Ο παράγον αυτός συναντάται όπως και στην ξηρή περίοδο στο νότιο τμήμα της περιοχής έρευνας (σχήμα 8.209) όπου επικρατεί στο γεωλογικό υπόβαθρο το κατώτερο μάρμαρο της αυτόχθονης ενότητας.



Σχήμα 8.209: Χωρική κατανομή του 3<sup>ου</sup> παράγοντα της υγρής περιόδου.



Σχήμα 8.210: Χωρική κατανομή του 4<sup>ου</sup> παράγοντα της υγρής περιόδου.

- Η 4<sup>η</sup> ομάδα αφορά τα φωσφορικά ιόντα ( $PO_4^{3-}$ ) και το κάλιο K. Η συνύπαρξή τους αποδίδεται σε χρήση λιπασμάτων και αντανακλά το βαθμό εφαρμογής αυτών (McGrath et al., 2004) εφόσον αποτελούν 2 απ' τα 3 κατεξοχήν στοιχεία λίπανσης.

Τα συνηθέστερα λιπάσματα υψηλής περιεκτικότητας καλίου και φωσφόρου στη σύνθεσή τους είναι το φωσφορικό κάλιο (29-45% K και 18-22% P) και το μεταφωσφορικό κάλιο με 29-32% K και 24-25% P (Tisdale and Nelson, 1975). Η χωρική κατανομή του παράγοντα δείχνει την επικράτηση αυτού σε καλλιεργήσιμες περιοχές Σπάτα, Παλλήνη, Παιανία, Κορωπί, Μαρκόπουλο και προς την εκβολή του Μεγάλου Ρέματος στη Ραφήνα (Σχήμα 8.210), επιβεβαιώνοντας την υπερβολική χρήση αγροχημικών στις καλλιέργειες της περιοχής.

### 8.9.3.2 Επιφανειακά νερά

Στον Πίνακα 8.51 που ακολουθεί, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της παραγοντικής ανάλυσης των επιφανειακών νερών της περιοχής έρευνας των δυο ρευμάτων Ερασίνοσ και Μεγάλο Ρέμα Ραφήνας. Από την ανάλυση αυτή προκύπτουν 6 ομάδες που περιγράφονται πιο κάτω.

Πίνακας 8.51: Παράγοντες επιφανειακών υδάτων

Παράμετρος	1 <sup>ος</sup>	2 <sup>ος</sup>	3 <sup>ος</sup>	4 <sup>ος</sup>	5 <sup>ος</sup>	6 <sup>ος</sup>
	Παράγων	Παράγων	Παράγων	Παράγων	Παράγων	Παράγων
Cl	<b>0,79</b>	0,36	-0,03	0,04	0,46	-0,01
PO <sub>4</sub>	<b>0,82</b>	-0,41	0,16	0,29	-0,02	0,13
SO <sub>4</sub>	0,17	<b>0,84</b>	0,18	0,4	0,19	-0,12
Na	0,06	<b>0,98</b>	0,03	0,1	0,12	-0,09
K	-0,06	<b>0,93</b>	-0,09	-0,06	0,27	-0,18
Ca	<b>0,85</b>	-0,38	0,09	0,18	0,25	0,17
Mg	<b>0,74</b>	0,19	0,49	0,09	-0,08	-0,39
HCO <sub>3</sub>	<b>0,92</b>	0,11	0,24	0,25	0,1	-0
NO <sub>3</sub>	0,41	-0,59	0,03	-0,47	-0,29	-0,41
NH <sub>4</sub>	<b>0,61</b>	-0,6	0,44	-0,03	-0,09	0,07
Br	0,44	-0,01	<b>0,86</b>	0,13	0,11	0,14
I	0,29	0,15	<b>0,88</b>	-0,04	0	0,3
F	-0,32	<b>0,76</b>	0,12	0,08	-0,31	0,1
CN	<b>0,68</b>	-0,24	0,1	<b>0,55</b>	0,31	0,16
Hydrazines	0,02	-0,28	0,2	-0,03	0,02	<b>0,9</b>
ανάλωση KMnO <sub>4</sub>	0,25	0,47	0,11	<b>0,82</b>	0,08	0,17
Phenols	-0,49	0,03	-0,14	0,09	<b>0,54</b>	<b>0,66</b>
Sr	<b>0,55</b>	<b>0,73</b>	0,1	-0,11	-0,18	-0,26
Fe	<b>0,64</b>	-0,35	-0,53	-0,39	-0,04	0,15
Cu	-0,32	0,25	-0,55	-0,06	-0,72	-0,05
Zn	0,34	0,04	0,14	<b>0,91</b>	0,06	-0,16
Cd	0,06	-0,05	0,42	0,04	0,02	<b>0,89</b>
Pb	-0,35	0,01	-0,81	-0,31	0,23	-0,27
Ni	0,47	-0,05	-0,13	<b>0,68</b>	0,43	-0,18
Mn	0,06	0,49	-0,07	-0,08	<b>0,86</b>	0,05
Cr	0,38	0,08	0,39	<b>0,73</b>	-0,27	0,3
pH	-0,57	0,47	0,06	-0,27	-0,53	0,3
SiO <sub>2</sub>	<b>0,86</b>	-0,11	0,33	0,16	-0,32	-0,08
Q	-0,41	-0,18	0,1	-0,33	-0,79	-0,22
<b>% ολικής διακύμανσης</b>	<b>41,88</b>	<b>20,3</b>	<b>12,7</b>	<b>11,5</b>	<b>6,9</b>	<b>4,39</b>

✚ Στην **1<sup>η</sup> ομάδα** ανήκουν κυρίως στοιχεία που σχετίζονται με τη γεωλογία της περιοχής όπως τα  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  και  $\text{SiO}_2$ , τα οποία εξηγούν πάνω από 41% της ολικής διακύμανσης. Τα φωσφορικά ιόντα  $\text{PO}_4$ , που συνυπάρχουν με τα προαναφερθέντα στοιχεία είναι ρυπαντικό στοιχείο που αποδίδεται στη ρύση οικιακών αποβλήτων στα ποτάμια (κύριο υποπροϊόν των απορρυπαντικών) και στην επιφανειακή έκλυση των εφαρμοζόμενων λιπασμάτων απ' τις καλλιέργειες. Η ιδιότητα του Φωσφόρου να απορροφάται από τα εδαφικά τεμαχίδια, μην αφήνοντας να εκπλυθεί προς τα υπόγεια νερά (Καλλέργης, 2000) είναι εμφανής στα επιφανειακά νερά. Η συνύπαρξη των φωσφορικών με τα στοιχεία που προέρχονται απ' τα μητρικά συστατικά του εδάφους δείχνει το μέγεθος της ρύπανσης αυτών. Η ομάδα αυτή κυριαρχεί ιδιαίτερα κατά μήκος του Ερασίνου.

✚ Στη **2<sup>η</sup> ομάδα** με 20,3% της συνολικής διακύμανσης ανήκουν στοιχεία αποδιδόμενα στη γεωλογία (Stamatis et al. 2006) της περιοχής όπως τα ιόντα  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  και  $\text{Sr}^{2+}$ . Η ομάδα αυτή παρατηρείται κατά μήκος του Μεγάλου Ρέματος Ραφήνας και των παραποτάμων του και επίσης στην εκβολή του Ερασίνου.

✚ Στην **3<sup>η</sup> ομάδα** με ποσοστό 12,7% επί της συνολικής διακύμανσης συγκαταλέγονται τα στοιχεία  $\text{Br}^-$  και  $\text{I}^-$  που πάντα συνυπάρχουν στην φύση. Παρατηρούνται σε ιχνοποσότητες κατά μήκος του Μεγάλου Ρέματος Ραφήνας και σε μεγαλύτερες ποσότητες στον παραπόταμο του Ερασίνου, που δέχεται τα περισσότερα απόβλητα του κατώτερου τμήματος του κάμπου των Μεσογείων. Η ομάδα αυτή αποδίδεται σε εφαρμογή φυτοφαρμάκων στις γειτονικές καλλιέργειες (Kabata-Pendias and Pendias, 1992).

✚ Στην **4<sup>η</sup> ομάδα** με διακύμανση 11,5% επί της συνολικής διακύμανσης ανήκουν τα στοιχεία  $\text{Zn}$ ,  $\text{Ni}$  και  $\text{Cr}$ . Η συνύπαρξη των βαρέων μετάλλων  $\text{Zn}$ ,  $\text{Ni}$  και  $\text{Cr}$  συνδυάζεται κυρίως με την γεωλογία της περιοχής. Εμφανίζονται στους σχιστόλιθους και στα οφιολιθικά σώματα που εντοπίζονται διάσπαρτα στην περιοχή. Η παρουσία τους στα επιφανειακά νερά γίνεται περισσότερη έντονη στα δυτικά τμήματα της περιοχής τροφοδοσίας των υδρορευμάτων.

✚ Στην **5<sup>η</sup> ομάδα** με διακύμανση 6,9% επί της συνολικής διακύμανσης επικρατεί η παρουσία του  $\text{Mn}$ . Η παρουσία του σχετίζεται άμεσα με γεωγενείς παράγοντες.

✚ Στην **6<sup>η</sup> ομάδα** με διακύμανση 4,4% επί της συνολικής διακύμανσης επικρατεί η παρουσία του  $\text{Cd}$  και σε δεύτερη θέση οι φαινόλες. Αν και οι φαινόλες και το κάδμιο βρέθηκαν σε αμελητέες ποσότητες αυτές συνυπάρχουν στον έκτο παράγοντα με κυριαρχία στον παραπόταμο που έρχεται από την Πεντέλη και τον παραπόταμο της Παλλήνης. Η παρουσία των φαινολών αποδίδεται σε επιφανειακούς παράγοντες, όπως χρήση γεωργικών φαρμάκων ή εισροή λυμάτων από μικρές βιοτεχνίες που δραστηριοποιούνται στην περιοχή (Siegel 2002, ATSDR 1997).

#### 8.9.4 Συμπεράσματα στατιστικής ανάλυσης υδροχημικών αποτελεσμάτων

Συνοψίζοντας τη στατιστική ανάλυση των υπόγειων κι επιφανειακών νερών, τα σπουδαιότερα αποτελέσματα που προέκυψαν είναι:

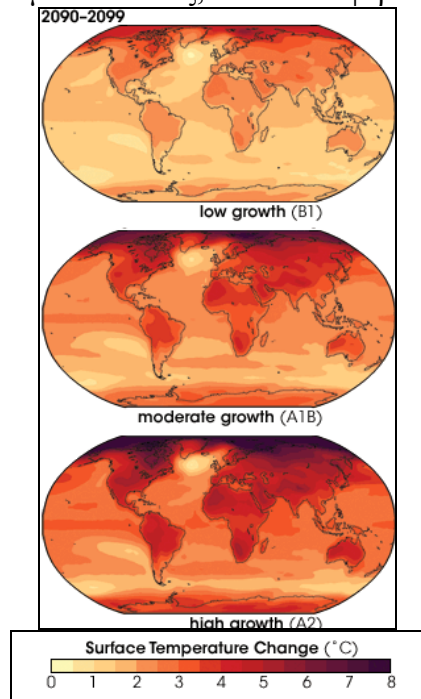
- 1) Η πλειοψηφία των στοιχείων ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{=}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{SiO}_2$ , Br, I, F) προέρχεται από γεωγενείς παράγοντες όπως η διάλυση εβαποριτικών αλάτων εντός των νεογενών και τεταρτογενών σχηματισμών, η διάλυση ασβεστολίθων, δολομιτών ή ασβεστολιθικών σωμάτων εντός των χαλαρών σχηματισμών. Τα βαρέα μεταλλικά στοιχεία Sr, Fe, Cu, Cd, Pb, Cr, Zn, Ni και Mn προκύπτουν από τη διάλυση στροντιανίτη, σελεστίνη, οφιολιθικών σωμάτων, σχιστολίθων και μικτών θειούχων ορυκτών που απαντώνται στην ευρύτερη περιοχή.
- 2) Πολλά στοιχεία προκύπτουν από ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Τα στοιχεία που προκύπτουν από τη στατιστική ανάλυση στα υπόγεια νερά είναι τα  $\text{NO}_3^-$ , Br και I και σχετίζονται με έκπλυση αγροχημικών ενώ στα επιφανειακά είναι τα  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{SO}_4^{=}$ , Pb, Br, I, Cr, CN που αποδίδονται σε εφαρμογή αγροχημικών στους εκατέρωθεν των ποταμών αγρούς, σε διαρροή αστικών λυμάτων και αποβλήτων ελαφρών βιομηχανιών.
- 3) Τα στοιχεία  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{=}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  και  $\text{Mg}^{2+}$  έχουν αφενός μεν γεωγενή προέλευση, αφετέρου εντοπίζονται σε έντονα υφαλμυρισμένους υδροφόρους από τη διείσδυση της θάλασσας.
- 4) Τα επιφανειακά νερά δέχονται κρυφά λύματα από τις μικρές βιοτεχνικές μονάδες της περιοχής, από αστικές περιοχές που στερούνται αποχετευτικού δικτύου, από τα νερά αποστραγγίσεων από την άρδευση καλλιεργειών κ.α. Απόρροια της προσθήκης αυτών των υδάτων στα επιφανειακά νερά είναι η αύξηση της παροχής, με ταυτόχρονη αύξηση πολλών ρυπαντικών στοιχείων που μεταφέρουν.

## 9. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΝ ΟΨΕΙ ΤΩΝ ΚΛΙΜΑΤΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΩΝ

### 9.1 Οι παγκόσμιες κλιματικές αλλαγές

Οι μελλοντικές κλιματικές αλλαγές αναμένεται να επηρεάσουν αρνητικά, εκτός των άλλων περιοχών και την περιοχή της Μεσογείου. Οι περισσότερες θεωρίες και σενάρια αφορούν τα επόμενα 50 με 100 χρόνια και προβλέπουν αύξηση του φαινομένου του θερμοκηπίου με τις ανάλογες επιπτώσεις στην αύξηση της θερμοκρασίας, μείωση ή αύξηση των βροχοπτώσεων και αντίστοιχα μείωση ή αύξηση της επιφανειακής απορροής, αύξηση της εξατμισοδιαπνοής, αύξηση της στάθμης της θάλασσας, επιδείνωση της ποιοτικής κατάστασης των υπόγειων κι επιφανειακών υδάτων (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007). Άμεσο επακόλουθο είναι οι περιβαλλοντικές και κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις.

Η θερμοκρασία προβλέπεται να αλλάξει λόγω των κλιματικών αντιδράσεων (climate feedbacks) οι οποίες μπορεί να είναι είτε θετικές είτε αρνητικές. Μία θετική κλιματική αντίδραση αφορά το λιώσιμο των πάγων που θα προκαλέσει τη μείωση της ανάκλασης της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας και την πλήρωση του ωκεανού με επιπλέον νερό συμβάλλοντας αθροιστικά στην απορρόφηση της θερμότητας. Μία αρνητική κλιματική αντίδραση αφορά την αύξηση των χαμηλών και πυκνών σύννεφων (stratus και cumulonimbus) που προκύπτει από την αύξηση της θερμοκρασίας κι έχει σαν αποτέλεσμα την απορρόφηση της ακτινοβολίας και γενικότερα της θερμότητας συμβάλλοντας τελικά στη μείωση της θερμοκρασίας (IPCC 2007, NRC 2002). Από τις κλιματικές αντιδράσεις σίγουρα υπερέχουν σε αριθμό οι θετικές, που θα επιφέρουν αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη.



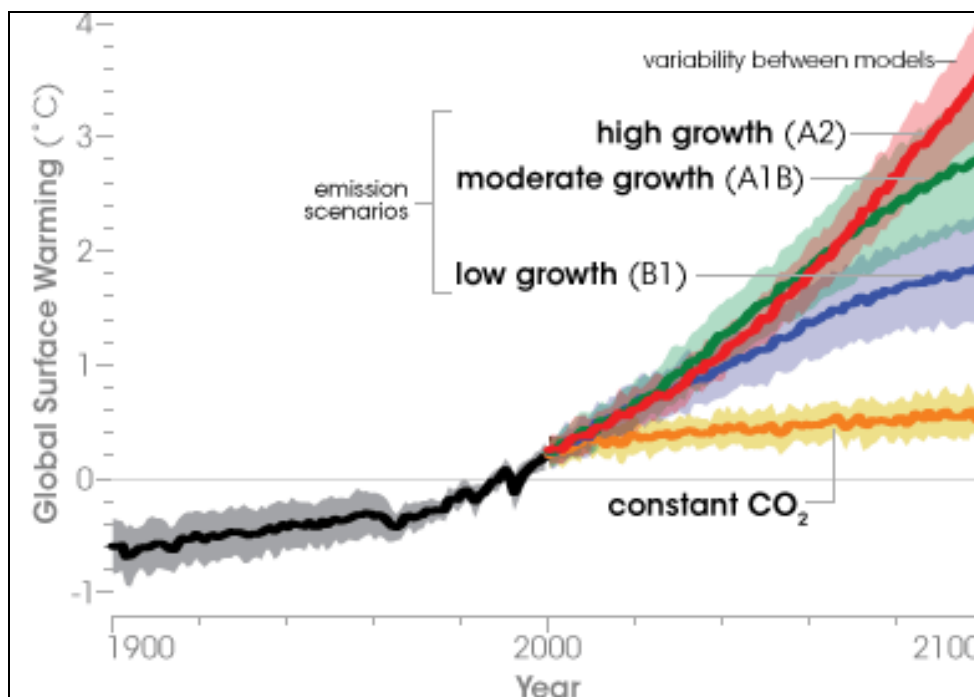
**Σχήμα 9.1:** Οι προβλέψεις αύξησης της θερμοκρασίας έως το έτος 2100 αποτυπωμένες στον παγκόσμιο χάρτη βάσει 3 σεναρίων (χαμηλής αύξησης, μέσης αύξησης και υψηλής αύξησης), IPCC 2007

Οι περισσότερες έρευνες δείχνουν μια αύξηση της θερμοκρασίας μεταξύ 1,1 και 6,4°C μέχρι τα τέλη του 21<sup>ου</sup> αιώνα (IPCC 2007, Arnell 1999). Οι ηπειρωτικές περιοχές θα παρουσιάσουν μεγαλύτερη αύξηση της θερμοκρασίας συγκριτικά με τους ωκεανούς, λόγω της μεγάλης θερμοχωρητικότητας των τελευταίων.

Η αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη με βάση τις θεωρίες του IPCC (2007) αποτυπώνεται χωρικά στο σχήμα 9.1 και διαγραμματικά στο σχήμα 9.2. Ενδιαφέρον παρουσιάζει το σενάριο που αφορά τη σταθεροποίηση των εκπομπών των καυσαερίων στα επίπεδα του έτους 2000.

Παρά το γεγονός ότι τα καυσαέρια δεν θα αυξάνονται, η θερμοκρασία προβλέπεται να αυξηθεί κατά 0,9 °C λόγω της αποθηκευμένης θερμότητας στον ωκεανό και των ρυπαντικών αερίων του φαινομένου του θερμοκηπίου που παραμένουν στην ατμόσφαιρα για δεκαετίες και όσο συνεχιστεί η παραμονή τους θα συντελούν αρνητικά στην αύξηση της θερμοκρασίας (IPCC 2007, NRC 2002).



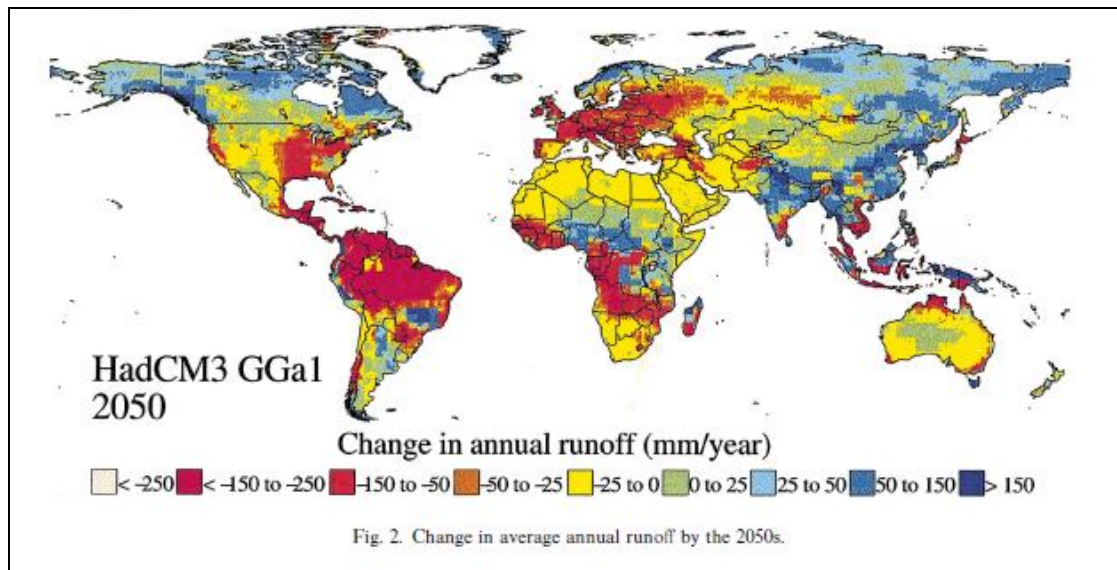


**Σχήμα 9.2:** Οι προβλέψεις αύξησης της θερμοκρασίας έως το έτος 2100 βάσει 4 σεναρίων (χαμηλής αύξησης, μέσης αύξησης, υψηλής αύξησης και σταθεροποίησης των εκλύσεων CO<sub>2</sub>), IPCC 2007.

Τα εκλούμενα αέρια του φαινομένου του θερμοκηπίου προβλέπεται να αυξηθούν, ιδιαίτερα στις αναπτυσσόμενες χώρες όπως η Κίνα. Η παγκόσμια έκλυση CO<sub>2</sub> προβλέπεται να αυξηθεί απ' τους 25 δισεκατομμύρια μετρικούς τόνους το 2003 στα 44 δις μετρικούς τόνους το 2030. Σύμφωνα με τις θεωρίες του Intergovernmental Panel on Climate Change (2007) η έκλυση διοξειδίου του άνθρακα προβλέπεται να αυξηθεί κατά 41% έως 158% έως το έτος 2100, ήτοι από 535 ppm έως 983 ppm. Μικρότερη αύξηση αναμένεται στις συγκεντρώσεις οξειδίου του αζώτου κατά 11-45% έως το έτος 2100. Το όζον της τροπόσφαιρας, σύμφωνα με παλαιότερη έρευνα του IPCC (2001) αναμένεται είτε να μειωθεί κατά 12%, είτε στη χειρότερη υπόθεση να αυξηθεί κατά 62% μέχρι το έτος 2100.

Η αύξηση της θερμοκρασίας θα προκαλέσει εκτός των άλλων κι αλλαγές στα κατακρημνίσματα και την ατμοσφαιρική υγρασία λόγω αύξησης της εξατμισοδιαπνοής, της εξάτμισης των θαλασσιών και λιμναίων νερών και της αλλαγής της κυκλοφορίας της ατμόσφαιρας. Επιπλέον θα μετατραπεί ο χρόνος κι η ποσότητα της απορροής, της εδαφικής υγρασίας και η ποιότητα των υπόγειων κι επιφανειακών υδάτων (Gleick, 1989). Η απορροή στις Μεσογειακές χώρες αναμένεται να μειωθεί προκαλώντας θερινές ξηρασίες. Η ζήτηση νερού ολοένα και θα αυξάνεται ιδιαίτερα κατά την τουριστική περίοδο που συμπίπτει στη χώρα μας με την ξηρή θερινή περίοδο (Gleick 1989, Chartzoulakis et al. 2001).

Όλα τα σενάρια των επιστημονικών μελετών δείχνουν αύξηση των κατακρημνισμάτων στη Βόρεια Ευρώπη και μείωση αυτών στις Μεσογειακές χώρες (IPCC 2007, Chartzoulakis et al. 2001, Mimikou et al. 2000, Arnell 1999). Η μείωση των κατακρημνισμάτων θα έχει αρνητικές συνέπειες στην πλήρωση των υπόγειων υδροφόρων, λιμνών και ποταμών με φρέσκο νερό και κατά συνέπεια στην ποιότητα των υπόγειων κι επιφανειακών νερών. Οι συνέπειες αυτές θα προκαλέσουν αλυσιδωτή αντίδραση με τελικές επιπτώσεις την υποβάθμιση των υδατικών κι εδαφικών πόρων και την ερημοποίηση.



**Σχήμα 9.3:** Οι προβλέψεις αύξησης ή μείωσης της απορροής αποτυπωμένες στον παγκόσμιο χάρτη έως το έτος 2050 (Arnell, 1999).

Στο σχήμα 9.3 φαίνεται η προβλεπόμενη μείωση ή αύξηση της επιφανειακής απορροής στον πλανήτη. Παρατηρούμε πως η ετήσια απορροή, αναμένεται να μειωθεί σημαντικά στη χώρα μας (κατά 50-150mm) σε αντίθεση με χώρες με υψηλά κατακρημνίσματα στις οποίες θα αυξηθεί.

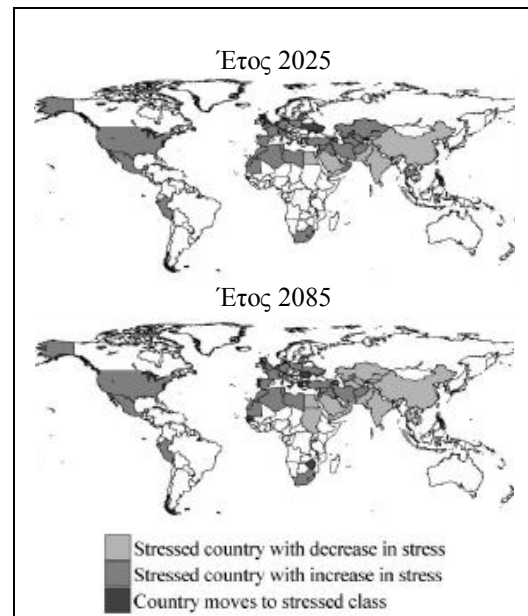
Ο αριθμός των ανθρώπων που θα μένουν σε περιοχές ανεπάρκειας νερού θα αυξηθεί κατά 53 εκατομμύρια μέχρι το έτος 2050 (Arnell, 1999).

Στο σχήμα 9.4 φαίνεται πως η χώρα μας βρίσκεται στις στρεσογόνες περιοχές που θα αντιμετωπίζουν μελλοντικά οξύτερο πρόβλημα στην επάρκεια νερού.

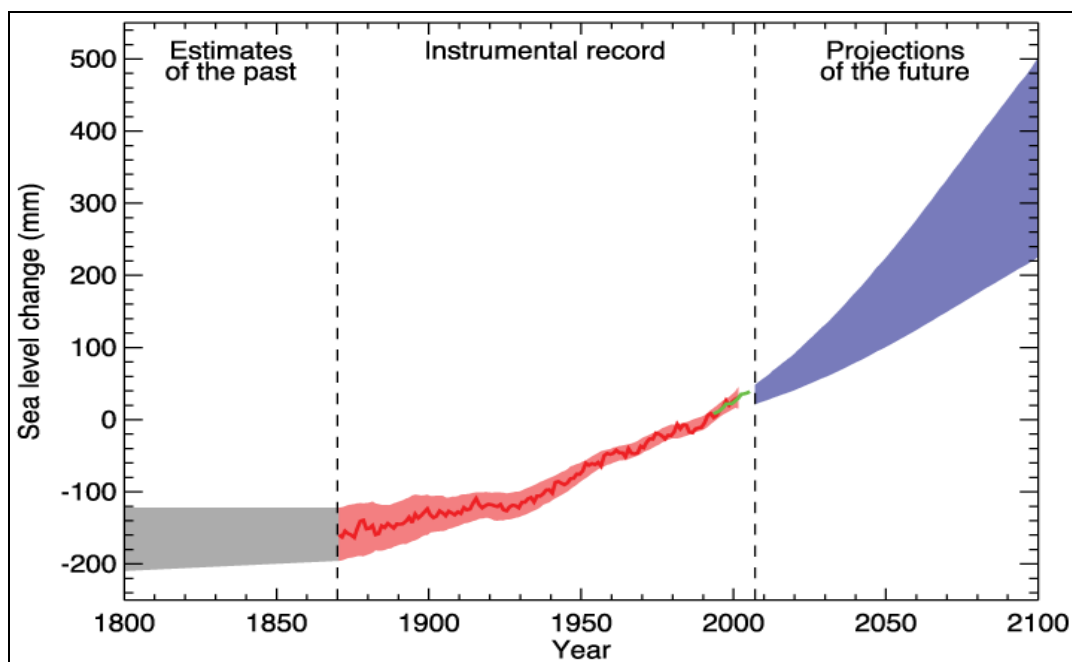
Μία από τις σημαντικές επιπτώσεις της θέρμανσης του πλανήτη είναι η αύξηση της στάθμης της θάλασσας.

Η αύξηση της θερμοκρασίας προκαλεί το λιώσιμο των πάγων, τη διόγκωση των ωκεανών και την αποκοπή των ακτογραμμών στην Ανταρκτική. Η θεωρία του IPCC (2007) βασισμένη στη σταθεροποίηση του ρυθμού λιώσιμου των πάγων στα δεδομένα των ετών 1993-2003 δείχνει μία αύξηση της θαλάσσιας στάθμης κατά 18 έως 59 εκατοστά (σχήμα 9.5).

Οι κλιματικές αλλαγές, όπως προαναφέρθηκε θα συμβάλλουν στην υποβάθμιση της ποιότητας των υπόγειων κι επιφανειακών υδάτων. Η αύξηση της θερμοκρασίας θα προκαλέσει εξάτμιση που θα έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση των αλάτων. Οι δείκτες μόλυνσης και ρύπανσης BOD και  $\text{NH}_4^+$  στα επιφανειακά νερά αναμένεται να αυξηθούν σημαντικά μέχρι το έτος 2050 (Mimikou et al., 2000).



**Σχήμα 9.4:** Οι προβλέψεις στρεσογόνων περιοχών όσον αφορά την επάρκεια νερού για τα έτη 2025 και 2085, βασισμένο στη χειρότερη υπόθεση (Arnell, 1999).



Σχήμα 9.5: Οι προβλέψεις αύξησης της στάθμης της θάλασσας έως το έτος 2100 (IPCC, 2007)

## 9.2 Κλιματικές αλλαγές και εκτίμηση επιπτώσεων στη λεκάνη Μεσογείων

Η ευρύτερη περιοχή της λεκάνης των Μεσογείων αποτελεί αντικείμενο έρευνας για επικείμενη ερημοποίηση τόσο λόγω των επερχόμενων κλιματικών αλλαγών όσο και της αλόγιστης επέμβασης του ανθρώπου στην φύση (Hatzaki et al., 2006). Οι προϋποθέσεις δημιουργίας ερημοποίησης (υποβάθμιση εδαφικών πόρων, εξάντληση υδατικών πόρων και υπέρβαση ορίου ξηρότητας στο κλίμα, Γιάσογλου 2002) φαίνεται να πληρούνται στο προσεχές μέλλον στην περιοχή έρευνας καθώς ήδη από την παρούσα έρευνα αποδείχθηκε η υποβάθμιση των καλλιεργούμενων εδαφών, η υφαλμύριση των νερών της παράκτιας ζώνης, η υποβάθμιση των υδατικών πόρων από τις ανθρώπινες δραστηριότητες κι η αύξηση της θερμοκρασίας συγκριτικά με τα περασμένα έτη.

Η αύξηση των θερινών ημερών υψηλής θερμοκρασίας (Tzanakou & Deligiorgi, 2006) κι η έλλειψη νερού (Mimikou, 2005) έχουν επιβεβαιωθεί στο νομό Αττικής. Η περιοχή άλλωστε συγκαταλέγεται σε αυτές με το ξηρότερο κλίμα στην Ελλάδα (Δαλέζιος και Λουκάς, 2003). Σε αυτό ενισχύουν κι οι πρόσφατες πυρκαγιές καθώς κι οι εκχερσώσεις (δημιουργία Διεθνούς Αερολιμένα, λατομεία Μαρκοπούλου) όπως κι η απότομη άναρχη δόμηση με τσιμέντο κι ασφαλτοστρώσεις (Γιάσογλου και Κοσμάς 1992, Γιάσογλου 2002) που αναμένεται να συνεχιστεί λόγω της οικονομικής αξιοποίησης της περιοχής.

Έρευνες στην περιοχή έρευνας, στην ευρύτερη περιοχή αλλά και σε περιοχές με παρόμοια κλιματικά και γεωλογικά δεδομένα υποδεικνύουν τον άμεσο κίνδυνο ερημοποίησης (Μαριολλάκος & Λέκκας 1974, Κούνης 1979, Δημητρακόπουλος κ.α. 1993, Γεωργιάς & Κουμαντάκης 1997, Alexakis & Kelepertsis 1998, Κούνης 1998, Αλεξιάκης 2002, Χαμπίδη 2005, Παπασουλούνια 2005, Stamatis et al. 2006, Bathrellos et al. 2008).

Οι επιπτώσεις της ερημοποίησης είναι πέρα από κοινωνικοοικονομικές και κλιματικές (Γιάσογλου 2002, Kosmas & Danalatos 1994) όπως:

- Αύξηση της θερμοκρασίας

- Συχνές και καταστροφικές πλημμύρες κατά τους βροχερούς μήνες
- Ξηρασία
- Διάβρωση εδαφών
- Υψηλά ποσοστά κονιορτού στον αέρα
- Υποβάθμιση της υγείας των κατοίκων
- Αύξηση των αναγκών σε νερό.

Συνοψίζοντας, η λεκάνη των Μεσογείων, επηρεασμένη από τις προσεχείς κλιματικές αλλαγές και την εξέλιξη της περιοχής λόγω της οικονομικής αξιοποίησης, αναμένεται να παρουσιάσει στα προσεχή 50-90 χρόνια:

- Αύξηση της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας αέρα (IPCC, 2007) που θα κυμαίνεται από 19,8 έως 25,1°C. Η μέση μέγιστη θερμοκρασία τους θερμούς καλοκαιρινούς μήνες πιθανόν να υπερβαίνει τους 40°C.
- Μείωση των κατακρημνισμάτων (Baltas et al. 2010, IPCC 2007, Chartzoulakis et al. 2001, Mimikou et al. 2000, Arnell 1999).
- Μείωση της ετήσιας απορροής ως αποτέλεσμα της μείωσης των κατακρημνισμάτων. Με βάση τις χειρότερες υποθέσεις των εξεταζόμενων σεναρίων (Arnell, 1999), η απορροή στους ποταμούς Ερασίνο και Μεγάλο Ρέμα πιθανόν να είναι μηδενική.
- Αύξηση του ποσοστού της ετήσιας εξατμισοδιαπνοής ως αποτέλεσμα της αύξησης της θερμοκρασίας και της σημαντικής μείωσης της ετήσιας απορροής.
- Άνοδο της θάλασσας στην παράκτια ζώνη κατά 18 έως 59 εκατοστά (IPCC, 2007) που θα έχει σαν συνέπεια την καταστροφή του σημερινού παράκτιου δρόμου που συνδέει τη Ραφήνα με τη Βραυρώνα (σχήμα 9.6) και πιθανότατα την εγκατάλειψη των παράκτιων καταστημάτων και εστιατορίων. Το σενάριο αύξησης του ρυθμού λιώσιμου των πάγων προβλέπει μεγαλύτερη άνοδο της θάλασσας από 59 εκατοστά.
- Αύξηση της θερμοκρασίας των υπόγειων κι επιφανειακών νερών. Τα υπόγεια κι επιφανειακά νερά της περιοχής παρουσιάζουν σχετικά υψηλές θερμοκρασίες (18,68°C και 25°C αντίστοιχα την ξηρή περίοδο). Η άνοδος κατά 1,1 με 6,4°C της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας αναμένεται να επηρεάσει και την θερμοκρασία των υδάτων της περιοχής, ιδιαίτερα των επιφανειακών που έρχονται σε άμεση επαφή με την θερμοκρασία αέρα.
- Μείωση της ποσότητας των υπόγειων νερών ως αποτέλεσμα της μείωσης των κατακρημνισμάτων που πληρώνουν με φρέσκο νερό τους υδροφόρους.
- Αύξηση των αλάτων και υποβάθμιση της ποιότητας των υδατικών πόρων. Η αύξηση της θερμοκρασίας των υδάτων κι η μειωμένη πλήρωση αυτών με φρέσκο νερό θα οδηγήσει στην αύξηση των αλάτων και στην υποβάθμιση της ποιότητάς τους (Mimikou et al., 2000).
- Υποβάθμιση των εδαφικών πόρων. Η εντατική καλλιέργεια των προγενέστερων ετών, η επερχόμενη ξηρασία, η άρδευση των καλλιεργειών με υφάλμυρο και κακής ποιότητας νερό καθώς κι οι εκδηλωμένες πυρκαγιές θα οδηγήσουν σε εμφάνιση επιφανειακής κρούστας στα εδάφη, αύξηση της διάβρωσης, μείωση της οργανικής ουσίας και της γονιμότητας, και γενικότερα σε υποβάθμιση των εδαφών.
- Αύξηση των εκδηλώσεων πυρκαγιάς. Στο κεφάλαιο 2.2.2 αναφέρθηκαν τα παρατηρηθέντα δασικά δένδρα και θάμνοι, τα οποία στην πλειοψηφία τους χαρακτηρίζουν δάση υψηλής ευφλεκτικότητας (Κατσάνος, 1970). Το



χαρακτηριστικό αυτό σε συνδυασμό με την επερχόμενη αύξηση της θερμοκρασίας, θα αποτελέσουν σημαντικό παράγοντα εκδήλωσης πυρκαγιών, που θα οδηγήσουν τελικά στην περαιτέρω αποψίλωση των δασών και την υποβάθμιση των Μεσογειακών οικοσυστημάτων προς μακκία (maquis) και γυμνά εδάφη (Καρανδεινός, 1995).

- Αύξηση των εκδηλώσεων πλημμύρας κατά τις βροχερές ημέρες. Μετά το έτος 1990, έχει παρατηρηθεί στην ευρύτερη περιοχή η μείωση των βροχερών ημερών, παρόλο που το συνολικό ύψος βροχής παραμένει στα ίδια επίπεδα με αυτά του περασμένου αιώνα (Καμπεζίδης, 2005). Αυτό συνεπάγεται την αύξηση της έντασης των βροχοπτώσεων, κάτι που οδηγεί σε εμφάνιση πλημμυρικών επεισοδίων. Στην περιοχή έρευνας, παρατηρήθηκαν αρκετές φορές πλημμυρικά επεισόδια, ιδιαίτερα στην περιοχή πλησίον της κοίτης του Ερασίνου και των παραποτάμων αυτού. Σύμφωνα με τις επιτόπιες παρατηρήσεις, τα φαινόμενα πλημμύρας εντάθηκαν και μετά τη δημιουργία του αεροδρομίου λόγω έλλειψης αγωγών εκτροπής υδάτων κι υπερχειλιστών.
- Ερημοποίηση ως αποτέλεσμα του συνδυασμού όλων των προαναφερθέντων συνεπειών και της αλόγιστης επέμβασης του ανθρώπινου παράγοντα.



**Σχήμα 9.6:** Οι προβλέψεις ανόδου της στάθμης της θάλασσας στην ακτογραμμή Ραφήνα-Βραυρώνα σύμφωνα με τα παγκόσμια σενάρια κλιματικών αλλαγών (IPCC, 2007)

Σίγουρα η κοινωνικοοικονομική εξέλιξη της περιοχής θα προκαλέσει πολλές από τις παραπάνω αλλαγές. Εδώ θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι τα παγκόσμια σενάρια

κλιματικών αλλαγών βασίζονται στην θέρμανση του πλανήτη λόγω της αύξησης των εκπομπών CO<sub>2</sub>, ενώ στο φαινόμενο του θερμοκηπίου συμβάλλουν κατά 95% οι υδρατμοί και λιγότερο από 5% το CO<sub>2</sub>. Παρουσιάζοντας το CO<sub>2</sub> σαν την κύρια αιτία εμφάνισης του φαινομένου του θερμοκηπίου εφαρμόζεται το σύστημα εμπορίας των δικαιωμάτων εκπομπής αερίων που προκαλούν το φαινόμενο θερμοκηπίου. Σύμφωνα με το περιβαλλοντικό χρηματιστήριο εμπορίας ρύπων (Κιότο), ο φορέας κάθε εκμετάλλευσης οφείλει στο τέλος του έτους να αναφέρει στην αρμόδια αρχή τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου που προήλθαν από τις εγκαταστάσεις του κατά τη διάρκεια του έτους. Το αποτέλεσμα είναι ο φορέας να καταβάλλει πολλά εκατομμύρια € για την υπέρβαση των ρύπων που του αναλογούν σαν αγορά επιπλέον δικαιωμάτων εκπομπών (Αλεξανδρή, 2012<sup>α</sup>). Ο πλανήτης στην παρούσα φάση βρίσκεται στην φάση ψύχρανσης (Αλεξανδρή, 2012<sup>β</sup>) καταρρίπτοντας όλα τα παγκόσμια σενάρια υπερθέρμανσης του πλανήτη.

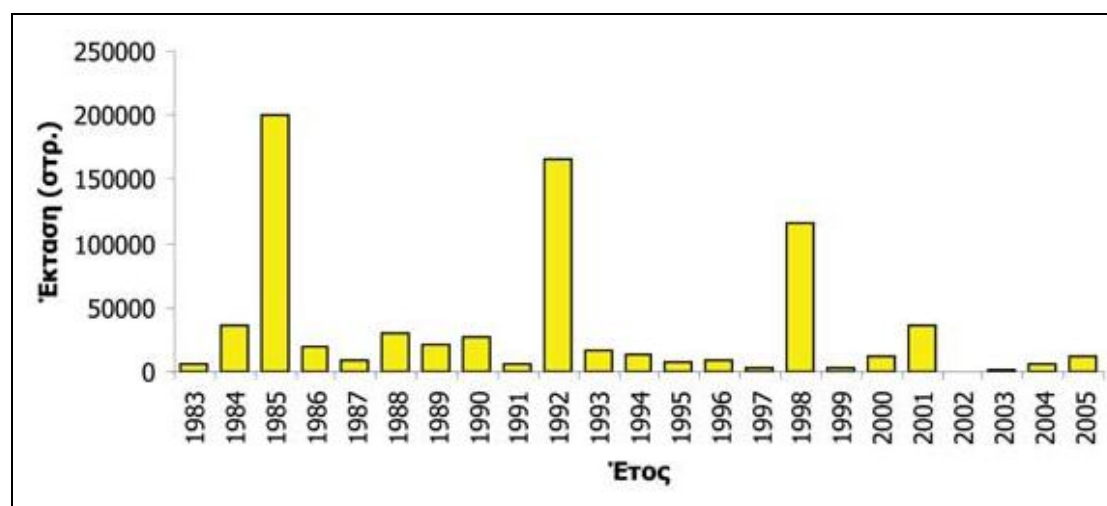
Συνοψίζοντας, ο κίνδυνος ερημοποίησης υφίσταται έντονος στην περιοχή όχι λόγω των παγκόσμιων κλιματικών αλλαγών αλλά λόγω της υπέρμετρης χρήσης και υποβάθμισης των υδατικών κι εδαφικών πόρων που προκαλείται από την οικονομική και κοινωνική εξέλιξη.

### 9.3. Εκτίμηση της επικινδυνότητας της περιοχής σε πυρκαγιές και πλημμύρες

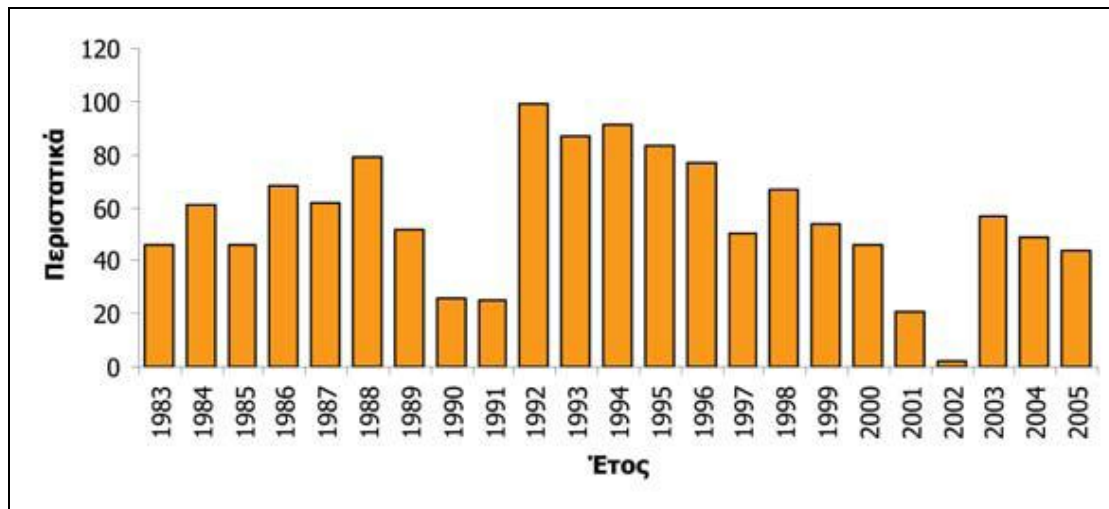
Η πυρκαγιά αποτελεί σημαντικό οικολογικό παράγοντα για την κατανομή, οργάνωση κι εξέλιξη των Μεσογειακών οικοσυστημάτων (Koutsias & Karteris, 2003). Η διαδοχή της Μεσογειακής βλάστησης μετά από πυρκαγιά ξεκινά με την απότομη μείωση των ειδών στην απογυμνωμένη περιοχή. Στη συνέχεια ακολουθεί η φυσική αναγέννηση της βλάστησης φθάνοντας με το πέρασμα των χρόνων σε μια μέγιστη τιμή, που μειώνεται ακολούθως λόγω της ωρίμανσης των φυτικών κοινωνιών (Whelean, 1995).

Στα δάση που επικρατεί η χαλέπιος πεύκη ευνοείται η αναγέννηση, μετά από πυρκαγιά λόγω εκτόξευσης των σπόρων με την θερμότητα. Όλοι σχεδόν οι σημερινοί τύποι της θαμνώδους βλάστησης των αειφυλλων πλατυφύλλων (maquis, garrigue) αποτελούν υποβαθμισμένες μορφές των αρχέγονων μικτών Μεσογειακών δασών (Καρανδεινός, 1995).

Σύμφωνα με στοιχεία του Ινστιτούτου Δασικών Ερευνών (Τσαγκάρη κ.α., 2010) και της European Forest Fire Information System (EFFIS), την περιοχή έχουν πλήξει αρκετές φορές στο παρελθόν πυρκαγιές καταστρέφοντας χιλιάδες στρέμματα δασών, κυρίως χαλεπίου πεύκης (σχήματα 9.7 και 9.8).



Σχήμα 9.7: Εκτάσεις καμένων δασών κατά τα έτη 1983-2005 στην Αττική (Τσαγκάρη κ.α., 2010)



**Σχήμα 9.8:** Αριθμός περιστατικών εκδήλωσης πυρκαγιών κατά τα έτη 1983-2005 στην Αττική (Τσαγκάρη κ.α., 2010)

Τα είδη που παρατηρήθηκαν στα δασικά τμήματα της περιοχής (κεφάλαιο 2.2.2) αναδεικνύουν την παρουσία των δασών υψηλής ευφλεκτικότητας (Κατσάνος, 1970). Από τα παρατηρημένα είδη επικρατούν σε αριθμό η χαλέπιος πεύκη και η θαμνώδης βλάστηση με σπάρτα, σχίνους, θυμάρια και πουρνάρια. Το ξηροθερμικό κλίμα της περιοχής έρευνας, σε συνδυασμό με τους άνομβρους θερινούς μήνες και τα είδη φυτοκάλυψης της περιοχής αποτελούν σημαντικό παράγοντα επικινδυνότητας εκδήλωσης πυρκαγιάς.

Για τη δημιουργία του χάρτη επικινδυνότητας εκδήλωσης πυρκαγιάς (Ψωμιάδης, 2010) ελήφθησαν υπόψη τα δεδομένα χρήσεων γης (είδη φυτών και διαχωρισμός τους σε υψηλής, μέσης και μικρής ευφλεκτικότητας – Κατσάνος, 1970) βασισμένα στους ορθοφωτοχάρτες του 1997.

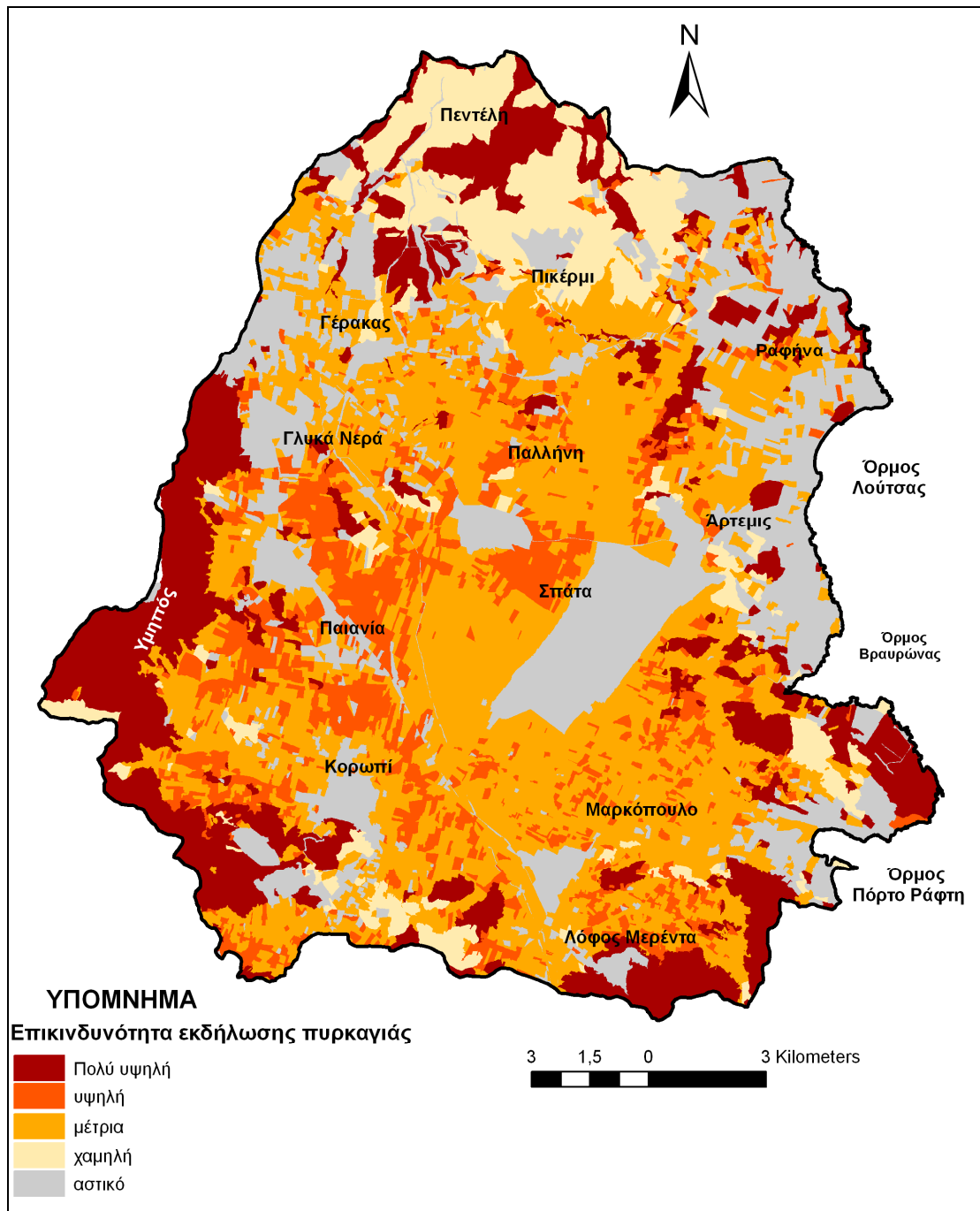
Με βάση το χάρτη του σχήματος 9.9 που προέκυψε παρατηρούμε τις δασικές εκτάσεις χαλεπίου πεύκης και θαμνώδους βλάστησης που παρατηρούνται στους πρόποδες του Υμηττού, της Πεντέλης και στους λόφους Μερέντα, Κορυφή και Περατή του Μαρκοπούλου να βρίσκονται σε πολύ υψηλή επικινδυνότητα εκδήλωσης πυρκαγιάς. Οι ελαιώνες του κάμπου των Μεσογείων κι οι λίγες δενδρώδεις καλλιέργειες βρίσκονται σε υψηλή επικινδυνότητα, οι αροτραίες καλλιέργειες και τα αμπέλια σε μέτρια και οι βοσκότοποι και τα χέρσα κι αποψιλωμένα κομμάτια γης που βρίσκονται κυρίως στους πρόποδες της Πεντέλης σε χαμηλή επικινδυνότητα.

Η αποψίλωση των δασών της περιοχής από τις πρόσφατες πυρκαγιές οδήγησε σε μεταφορά φερτών υλικών προς τα κατάντη προκαλώντας διαταραχή στο υδατικό καθεστώς και την εμφάνιση πλημμυρικών φαινομένων. Σε αυτό συντέλεσε κι η αύξηση της έντασης των βροχοπτώσεων των τελευταίων ετών (Καμπεζίδης, 2005) καθώς κι η απουσία αντιπλημμυρικών έργων (αγωγών εκτροπής, υπερχειλιστών κλπ.) που ήταν επιτακτικά μετά την κάλυψη πολλών υδρορεμάτων δευτερεύουσας ροής από τα έργα κατασκευής του Διεθνούς Αερολιμένα Αθηνών και της Αττικής Οδού.

Τα πρόσφατα πλημμυρικά επεισόδια παρατηρήθηκαν κυρίως στο κύριο ρέμα του Ερασίνου και πιο έντονα σε σημεία που γειτνιάζουν με το Αεροδρόμιο.

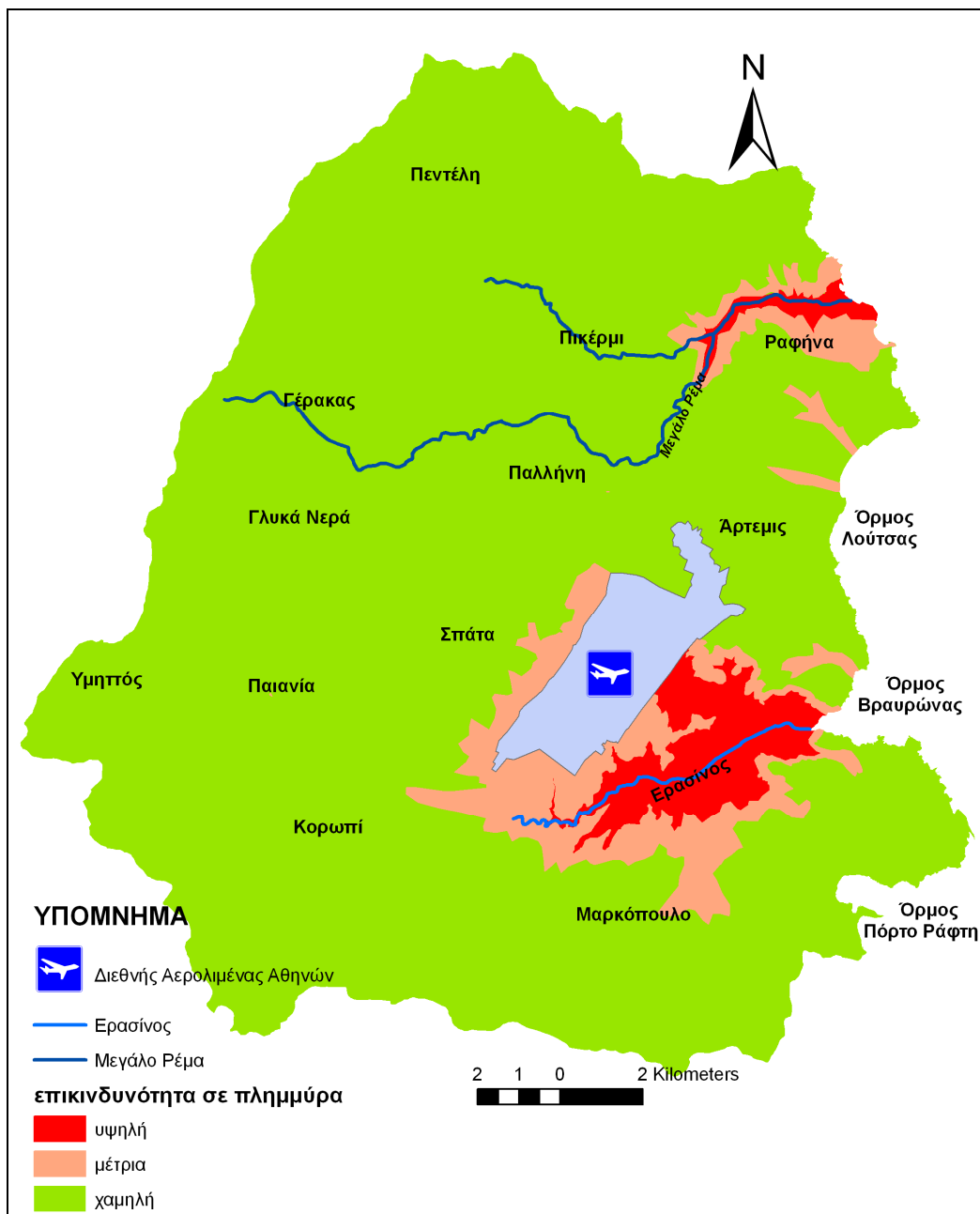
Για τη δημιουργία του χάρτη επικινδυνότητας εμφάνισης πλημμυρικών φαινομένων, ελήφθησαν υπόψη οι ψηφιοποιημένοι χάρτες ισοϋψών, υδρογραφικού δικτύου και χρήσεων γης. Απ' το συνδυασμό των δύο τελευταίων εξετάστηκε η επικάλυψη των υδρορεμάτων από τη δημιουργία των μεγάλων έργων.





**Σχήμα 9.9:** Χάρτης επικινδυνότητας εκδήλωσης πυρκαγιάς στην περιοχή έρευνας

Από το χάρτη του σχήματος 9.10 παρατηρούμε την περιοχή γύρω από τον ποταμό Ερασίνο να βρίσκεται σε υψηλή ευαισθησία εμφάνισης πλημμυρικών φαινομένων. Στην κόκκινη ζώνη του Ερασίνου, παρατηρήθηκαν πολλές φορές πλημμυρικά επεισόδια μετά από βροχερές ημέρες μέσα στα έτη 2005, 2006 και 2007 όπου γινόταν κι επιτόπια παρατήρηση. Παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον το γεγονός ότι τις μέρες που η κοίτη του Ερασίνου καθώς κι η ευρύτερη περιοχή ήταν πλημμυρισμένη, στο Μεγάλο Ρέμα Ραφήνας υπήρχε μόνο μεγάλη παροχή χωρίς εμφάνιση πλημμυρικών φαινομένων. Αυτό δείχνει την αδυναμία του ρέματος του Ερασίνου να δεχθεί τις επιπλέον ποσότητες νερού που προέκυψαν από εκτροπή των παλαιών υδρορεμάτων δευτερεύουσας και ανωτέρας τάξεως ροής μετά τη δημιουργία των μεγάλων έργων στην περιοχή.



Σχήμα 9.10: Χάρτης επικινδυνότητας εμφάνισης πλημμύρας στην περιοχή έρευνας

## ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Τα σπουδαιότερα αποτελέσματα για την ποιότητα των υπόγειων κι επιφανειακών υδάτων και εδαφών της περιοχής Ανατολικής Αττικής (υδρολογική λεκάνη Ερασίνου και Μεγάλου Ρέματος), μπορούν, γενικά, να συνοψιστούν στα ακόλουθα:

### • ΕΔΑΦΗ

Τα εδάφη, στην πλειοψηφία τους είναι αμμοπηλώδη και αμμο-αργιλοπηλώδη. Η επικράτηση χονδρόκοκκων κλασμάτων της άμμου διευκολύνει την γρήγορη έκπλυση των ρυπαντικών στοιχείων προς τον υπόγειο υδροφόρο. Οι φυσικοχημικές παράμετροι δείχνουν εδάφη υψηλής αλκαλικότητας, επιρρεπή στη διάβρωση, φτωχά σε οργανική ουσία και με χαμηλό δείκτη C/N. Η εντατική καλλιέργεια από αρχαιοτάτων χρόνων μετέτρεψε την πιο εύφορη γη της Αττικής σε άγονο τόπο. Υψηλές συγκεντρώσεις αζώτου και φωσφόρου εντοπίστηκαν πλησίον κτηνοτροφικής μονάδας, όπου αυξημένη ήταν και η περιεκτικότητα σε οργανική ουσία αλλά και οι ολικές συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων Pb, Fe, Cd και Zn. Η συνύπαρξη αυτών των στοιχείων αποδίδεται στα λύματα της κτηνοτροφικής εγκατάστασης και στην ιδιότητα της οργανικής ουσίας να δεσμεύει τα βαρέα μέταλλα και τον φώσφορο.

Οι συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων αποδίδονται κυρίως σε γεωγενείς παράγοντες και δευτερευόντως σε ανθρωπογενείς δραστηριότητες, όπως επιβεβαιώνεται από τη στατιστική παραγοντική ανάλυση. Οι γεωγενείς παράγοντες αφορούν την ύπαρξη οξειδίων σιδήρου και μαγγανίου στα καστανόκόκκινα εδάφη της περιοχής, που έχουν την τάση να δεσμεύουν βαρέα μέταλλα όπως το Co, Ni και τον Cu, αλλά και τη διάλυση διαφόρων μικτών θειούχων ορυκτών που συνυπάρχουν εντός των σχιστολίθων και των οφιολιθικών σωμάτων της περιοχής που εντείνουν την αύξηση των συγκεντρώσεων βαρέων μετάλλων στα εδάφη. Οι ανθρώπινες δραστηριότητες αφορούν την υπέρμετρη χρήση αγροχημικών (φωσφορικά λιπάσματα, φυτοφάρμακα, κοπριά και εδαφοβελτιωτικά) και τα απόβλητα βιομηχανιών και κτηνοτροφιών.

### • ΥΠΟΓΕΙΑ ΥΔΑΤΑ

Η υδροχημεία των υπόγειων υδάτων επηρεάζεται από τη διάλυση των πετρωμάτων του γεωλογικού υποβάθρου αλλά και από ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Ο στατιστικός έλεγχος έδειξε μη σημαντικές διαφορές, σε επίπεδο σημαντικότητας 5% ( $\alpha=0,05$ ), στις συγκεντρώσεις των στοιχείων  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $HCO_3^-$ ,  $Na^+$  και Cl, μεταξύ της ξηρής και υγρής περιόδου, επιβεβαιώνοντας την προέλευσή τους από τη διάλυση των πετρωμάτων ασβεστίτη, γύψου, ανυδρίτη, μαγνησίτη, αλύτη και δολομίτη. Η πλειοψηφία των υδάτων χαρακτηρίζεται από υψηλή αλατότητα, ως αποτέλεσμα της διάλυσης κυρίως υπολειμματικών εβαποριτικών αλάτων των νεογενών και τεταρτογενών σχηματισμών. Οι συγκεντρώσεις θεικών ιόντων των δύο υγρών περιόδων (2006 και 2007) εμφανίζουν στατιστικά οριακή διαφορά ( $\alpha=0,05$ ), επιβεβαιώνοντας την προέλευσή τους τόσο από τη διάλυση των πετρωμάτων του γεωλογικού υποβάθρου (γύψος, ανυδρίτης) όσο και από ανθρωπογενείς δραστηριότητες (προσθήκη φυτοφαρμάκων και θειούχων λιπασμάτων ή έκπλυση προϊόντων μη στεγανών σηπτικών βόθρων). Οι συγκεντρώσεις νιτρικών επίσης δεν διαφέρουν στατιστικά μεταξύ των δύο διαδοχικών ξηρών και των δύο υγρών περιόδων ( $\alpha=0,05$ ), εξαιτίας της χρόνιας συσσώρευσή τους από την εφαρμογή αζωτούχων λιπασμάτων και οργανικής ύλης στον διαχρονικά καλλιεργούμενο κάμπο των Μεσογείων. Οι συγκεντρώσεις φωσφορικών και αμμωνιακών ιόντων δεν εμφανίζουν στατιστική διαφοροποίηση μεταξύ των δύο ξηρών και των δύο υγρών

περιόδων ( $\alpha=0,05$ ). Αυτό υποδηλώνει την προέλευσή τους από σταθερά επαναλαμβανόμενες ανθρώπινες δραστηριότητες όπως η έκλυση μη στεγανών βόθρων.

Η απουσία αποχετευτικού δικτύου σε όλη την έκταση αντικατοπτρίζεται στις υψηλές συγκεντρώσεις φωσφορικών, αμμωνιακών και θεικών ιόντων, τα οποία αποτελούν κατεξοχήν στοιχεία έκλυσης μη στεγανών βόθρων. Η χωρική κατανομή των συγκεντρώσεων νατρίου, χλωρίου και ηλεκτρικής αγωγιμότητας φανερώνει υποβάθμιση στην παράκτια ζώνη από θαλάσσια διείσδυση. Η άναρχη διάνοιξη πηγαδιών και γεωτρήσεων σε συνδυασμό με την υπεράντληση διευκόλυναν τη διείσδυση του θαλάσσιου μετώπου προκαλώντας μη αναστρέψιμη υφαλμύριση.

Τα υπόγεια νερά της περιοχής είναι αρκετά επιβαρυνμένα με βαρέα μέταλλα. Από τη χωρική κατανομή των συγκεντρώσεών τους προκύπτει αυξητική τάση προς το νοτιοδυτικό τμήμα, όπου έχουν διαπιστωθεί αυξημένες συγκεντρώσεις ολικού χρωμίου σε προγενέστερες μελέτες. Οι υψηλές συγκεντρώσεις των μετάλλων Fe, Mn, Cu, Cd, Ni και Cr στο δυτικό τμήμα αποδίδονται κυρίως στην ύπαρξη διαφόρων οξειδίων και μικτών θειούχων ορυκτών στα διάσπαρτα οφιολιθικά σώματα και στους σχιστόλιθους του κρυσταλλικού γεωλογικού υποβάθρου της περιοχής. Πιθανές διαρροές από τη βιομηχανική ζώνη του Κορωπίου, αυξάνουν τις συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων στα υπόγεια νερά. Η παρουσία Zn, Cd, Pb, Ni και Co σε συγκεντρώσεις αυξημένες προς το νοτιοανατολικό τμήμα της περιοχής αποδίδεται στη διάλυση των σχιστόλιθων.

Η παραγοντική ανάλυση επιβεβαιώνει τη γεωγενή προέλευση στοιχείων όπως τα οξυανθρακικά, το νάτριο και το χλώριο αλλά και τα βαρέα μέταλλα Sr, Cu, Cd, Ni και Mn, την θαλάσσια διείσδυση στην παράκτια ζώνη και την ανθρωπογενή προέλευση των νιτρικών, θεικών και φωσφορικών ιόντων.

Τα υπόγεια νερά της περιοχής είναι γενικά ακατάλληλα για ανθρώπινη κατανάλωση, με βάση τα όρια ποσιμότητας της Ε.Ε. (Οδηγίες 80/778 και 90/83). Η αλατότητα των υδάτων τα καθιστά μετρίως κατάλληλα έως ακατάλληλα για βιομηχανική και οικιακή χρήση, ενώ σύμφωνα με την ταξινόμηση Richards και Wilcox είναι στην πλειοψηφία τους μέτριας καταλληλότητας που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για άρδευση με περιορισμούς.

#### • ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΥΔΑΤΩΝ-ΕΔΑΦΩΝ

Από τη σύγκριση των αποτελεσμάτων των υδροχημικών κι εδαφοχημικών αναλύσεων προκύπτουν συσχετίσεις μεταξύ κάποιων κύριων στοιχείων και βαρέων μετάλλων των υπόγειων νερών και ορισμένων μορφών βαρέων μετάλλων στα εδάφη. Οι συσχετίσεις αυτές προκύπτουν από την ομοιότητα των χωρικών κατανομών αυτών κι όχι από τη στατιστική ανάλυση.

Οι χωρικές κατανομές των δεσμευμένων μορφών στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών παρουσιάζουν ομοιότητες με τις αντίστοιχες των υπόγειων υδάτων σε όλα τα βαρέα μέταλλα λόγω της διάλυσης των σχιστολίθων, των μικτών θειούχων ορυκτών και των οφιολιθικών σωμάτων του γεωλογικού υποβάθρου της περιοχής.

Η απουσία συσχέτισης στις χωρικές κατανομές των περισσοτέρων βαρέων μετάλλων μεταξύ των υπόγειων νερών και των αντίστοιχων υδατοδιαλυτών μορφών των εδαφών, επιβεβαιώνει τη γεωγενή προέλευση των βαρέων μετάλλων στα υπόγεια νερά. Η ομοιότητα στις χωρικές κατανομές των υδατοδιαλυτών μορφών Cu και Cd των εδαφών και των αντίστοιχων των υπόγειων νερών υποδεικνύουν τη χρήση χαλκούχων σκευασμάτων και γενικότερα αγροχημικών στις καλλιέργειες αμπέλου του Κορωπίου ενώ οι ομοιότητες στις αντίστοιχες χωρικές κατανομές του Pb προς το

νοτιοανατολικό τμήμα της περιοχής υποδεικνύει πιθανή ατμοσφαιρική κατακρήμνιση μολυβδούχων ρύπων.

Οι συγκεντρώσεις Mg και Ca των υπόγειων υδάτων και των εδαφών παρουσιάζουν σχετική ομοιότητα στις χωρικές κατανομές, υποδηλώνοντας την γεωγενή προέλευσή τους. Η συσχέτιση των συγκεντρώσεων νατρίου των υπόγειων υδάτων και των εδαφών με αυξημένες τιμές στην παράκτια ζώνη αποδίδεται στην θαλάσσια διείσδυση στον υδροφόρο, στην υψηλή στάθμη του υφάλμυρου υδροφόρου, και στην εναπόθεση θαλάσσιου σπρέι στα εδάφη.

Συσχέτιση παρουσιάζεται και μεταξύ των νιτρικών ιόντων των υπόγειων υδάτων και του ποσοστού αζώτου (N%) των εδαφών με αυξητικές τάσεις προς το κεντρικό-δυτικό τμήμα όπου επικρατούν οι καλλιέργειες του Κορωπίου, αποδιδόμενη σε εφαρμογή αζωτούχων λιπασμάτων και κοπριάς στις καλλιέργειες. Η απουσία συσχέτισης μεταξύ των φωσφορικών ιόντων των υπόγειων υδάτων και των συγκεντρώσεων φωσφόρου των εδαφών έγκειται στο γεγονός ότι τα πρώτα προκύπτουν κυρίως από την έκπλυση προϊόντων μη σηπτικών βόθρων που βρίσκονται σε επίπεδο πολύ χαμηλότερο από το επίπεδο των εξετασθέντων εδαφών.

#### • ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ ΥΔΑΤΑ

Από τη έρευνα του υδρολογικού ισοζυγίου στις λεκάνες απορροής του Ερασίνου και του Μεγάλου Ρέματος, όπως προσδιορίστηκαν από εβδομαδιαίες μετρήσεις της παροχής στην εκβολή προέκυψαν ποσοστά εξατμισοδιαπνοής 59-65% και 56-59% της ποσότητας των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων αντίστοιχα. Οι τιμές αυτές θεωρούνται σχετικά χαμηλές για το ξηροθερμικό κλίμα της Αττικής λόγω του ευνοϊκού μικροπεριβάλλοντος που δημιουργείται από τις σχετικά υψηλές θερμοκρασίες και τα χαμηλά ύψη βροχής. Βέβαια, η ανθρωπογενής ενίσχυση της ποσότητας των απορρεόντων υδάτων τόσο στο Μεγάλο Ρέμα όσο και στον Ερασίνο υπολογίστηκε προς όφελος της επιφανειακής απορροής, μειώνοντας τα αντίστοιχα ποσοστά εξατμισοδιαπνοής.

Το Μεγάλο Ρέμα είχε παροχή καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, κάτι που δεν συνάδει με τα λιγοστά κατακρημνίσματα των μηνών της ξηρής περιόδου (Απρίλιος – Σεπτέμβριος). Η χημική σύσταση των υδάτων κατά μήκος του Μεγάλου Ρέματος υποδεικνύει απόρριψη στο υδατικό σύστημα λυμάτων ελαφρών βιομηχανιών, νερών αποστραγγίσεων από την άρδευση καλλιεργειών εκατέρωθεν του κύριου κλάδου και αστικών λυμάτων από την πόλη της Ραφήνας με κυρίαρχα τα απόνερα των πλυντηρίων. Οι υψηλές συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων Mn, Cu, Zn, Cd, Pb, Ni, Cr και  $\text{NO}_3^-$  σε θέσεις του ρέματος που περιβάλλονται από καλλιέργειες, αλλά και οι υψηλές συγκεντρώσεις  $\text{PO}_4^{3-}$  και  $\text{Cl}^-$  στην εκβολή ενισχύουν την παραπάνω άποψη. Ενδιαφέρον παρουσιάζει η διαφοροποίηση του δευτερεύοντα κλάδου, Βαλανήρη, ως προς τη χημική του σύσταση. Οι μικρότερες συγκεντρώσεις ολικών διαλυμένων αλάτων, νιτρικών και φωσφορικών υποδεικνύουν διαφορετικές χρήσεις γης ανάντη του κλάδου αυτού, αλλά και περιορισμένη μεταφορά στοιχείων των δυσδιάλυτων κρυσταλλοσχητισμών του γεωλογικού υποβάθρου της Πεντέλης.

Η εισροή υδάτων ανθρωπογενών δραστηριοτήτων στον Ερασίνο, αποδεικνύεται από την επιτόπια παρατήρηση (δυσοσμία, χρωματισμός και φυσαλίδες από παραγωγή αερίων) αλλά και τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων (υψηλές τιμές φωσφορικών, νιτρικών ιόντων και βαρέων μετάλλων). Σε ό,τι αφορά στην ποιότητα των υδάτων του Ερασίνου, αυτή χαρακτηρίζεται από υψηλές συγκεντρώσεις νιτρικών και βαρέων μετάλλων, ως αποτέλεσμα της εντατικής καλλιέργειας των εδαφών εκατέρωθεν του ποταμού και κυρίως της υπέρμετρης χρήσης αγροχημικών.

Η σχέση παροχής – ολικών διαλυμένων στερεών (TDS) αποτελεί πρόσθετη απόδειξη για την εισροή υδάτων από ανθρωπογενείς δραστηριότητες τόσο στον Ερασίνο όσο και στο Μεγάλο Ρέμα. Γενικά, οι μεγάλες παροχές που οφείλονται σε μεγάλες ποσότητες υετήσιμου νερού συνδέονται με χαμηλές συγκεντρώσεις TDS, λόγω αραίωσης. Εντούτοις, στις περιπτώσεις του Ερασίνου και του Μεγάλου Ρέματος τα TDS εμφανίζονται σε πολύ υψηλές συγκεντρώσεις ανεξαρτήτως του μεγέθους της παροχής, εξαιτίας της απόρριψης ήδη επιβαρυσμένων με υψηλές συγκεντρώσεις TDS λυμάτων.

Οι εκβολές και στα δύο ποτάμια έχουν δεχθεί την επιρροή της θάλασσας, ιδιαίτερα τους θερμούς μήνες λόγω αύξησης του θαλάσσιου αερολύματος με την εξάτμιση. Οι συγκεντρώσεις νατρίου, χλωρίου και θεικών είναι σημαντικά υψηλότερες στις εκβολές συγκριτικά με ανάντη. Ο έλεγχος ύπαρξης φαινολικών ουσιών, κυανιδίων και υδραζινών δεν έδειξε σημαντικές συγκεντρώσεις τους μήνες λειτουργίας των ελαιοτριβείων και οινοποιείων, συνεπώς η λειτουργία τους στην περιοχή δεν φαίνεται να επηρεάζει αρνητικά την ποιότητα των επιφανειακών υδάτων.

Διαπιστώθηκε ότι μέσα από το Μεγάλο Ρέμα μετακινήθηκαν μέσα στο υδρολογικό έτος 2005-2006 σημαντικά φορτία θρεπτικών στοιχείων  $\text{NO}_3^-$ : 284,6 τόνοι,  $\text{NH}_4^+$ : 7,91 τόνοι και  $\text{PO}_4^{3-}$ : 1,7 τόνοι και μέσα από τον Ερασίνο  $\text{NO}_3^-$ : 89,4 τόνοι,  $\text{NH}_4^+$ : 4,54 τόνοι και  $\text{PO}_4^{3-}$ : 1 τόνος με εύλογη απόρροια την εμφάνιση ευτροφικών καταστάσεων στις εκβολές των δύο ποταμών. Το ολικό ετήσιο φορτίο μεταφοράς βαρέων μετάλλων στην εκβολή του Μεγάλου Ρέματος είναι 28,794 τόνοι ενώ του Ερασίνου 8,731 τόνοι. Παρά το γεγονός ότι τα ύδατα του Ερασίνου παρουσιάζουν μεγαλύτερη σκληρότητα, είναι εμφανής η ανθρωπογενής επιβάρυνση που δέχονται τα νερά του Μεγάλου Ρέματος έναντι αυτών του Ερασίνου κι αντικατοπτρίζεται στα υψηλά φορτία των  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$  και των βαρέων μετάλλων.

- ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

Η υποβάθμιση των καλλιεργούμενων εδαφών, η υφαλμύριση των νερών της παράκτιας ζώνης κι η υποβάθμιση των υδατικών πόρων από τις ανθρώπινες δραστηριότητες, σε συνδυασμό με τις αυξητικές τάσεις της θερμοκρασίας σε σχέση με παλαιότερα, δείχνουν ότι η περιοχή βιώνει τα πρώιμα σημάδια της ερημοποίησης. Εάν δεν υπάρξουν δραστικά μέτρα για την άσκηση αειφόρου γεωργίας και για τη διασφάλιση της ποιότητας των υδατικών πόρων και των αποθεμάτων τους, η περιοχή της Ανατολικής Αττικής οδεύει σταδιακά προς πλήρη ερημοποίηση.

Σύμφωνα με τα παγκόσμια σενάρια κλιματικών αλλαγών (Gleick, 1989; Arnell, 1999; Mimikou et al., 2000; Chartzoulakis et al., 2001; NRC, 2002; I.P.C.C. , 2007) η περιοχή προβλέπεται να υποστεί τα επόμενα 50-90 χρόνια επιπλέον άνοδο της στάθμης της θάλασσας κατά 0,18-0,59m στην παράκτια ζώνη, αύξηση της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας αέρα, μείωση των κατακρημνισμάτων, μείωση της ετήσιας απορροής, αύξηση του ποσοστού της ετήσιας εξατμισοδιαπνοής και αύξηση της θερμοκρασίας των υπόγειων κι επιφανειακών νερών. Η περιοχή θα παρουσιάσει αρκετές αλλαγές τα προσεχή χρόνια που θα συνδέονται κυρίως με τις ανθρώπινες δραστηριότητες κι όχι τόσο με την υποτιθέμενη υπερθέρμανση του πλανήτη.

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η υδρογεωχημική έρευνα που πραγματοποιήθηκε στη λεκάνη Μεσογείων της Ανατολικής Αττικής, έδωσε τ' ακόλουθα συμπεράσματα:

- Τα **εδάφη** της περιοχής είναι αμμοπηλώδη και αμμοαργιλοπηλώδη και παρουσιάζουν κυρίως καστανοκόκκινα χρώματα που αποδίδονται στα οξείδια Fe και Mn. Η επικράτηση χονδρόκοκκων κλασμάτων της άμμου διευκολύνει την έκπλυση των ρυπαντικών στοιχείων προς τον υπόγειο υδροφόρο.
- Οι τιμές του λόγου (άμμος+ιλύς)/άργιλος είναι χαμηλές (μ.ο.=5,4) υποδηλώνοντας υψηλή επικινδυνότητα των εδαφών στη διάβρωση που έχει προκληθεί προφανώς από την αποψύλωση των δασών λόγω των πυρκαγιών, από την υπερβόσκηση των λιβαδιών και κυρίως από τις λάθος καλλιεργητικές τεχνικές (μονοκαλλιέργειες, άρδευση με υφάλμυρα νερά, εντατική εφαρμογή αγροχημικών κλπ.).
- Τα εδάφη είναι ελαφρώς αλκαλικά παρουσιάζοντας τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας με μέσο όρο 486μS/cm.
- Οι τιμές της Ικανότητας Ανταλλαγής Κατιόντων είναι χαμηλές και κυμαίνονται από 26,2 έως 48,2 με μέσο όρο 35,93 χιλιοιστοδύναμα/100γρ. εδάφους. Η σχέση μεταξύ του ποσοστού της αργίλου και της ΙΑΚ είναι γραμμική με συντελεστή προσαρμογής  $R^2=0,65$ . Η γραμμική σχέση ΙΑΚ-αργίλου αποδίδεται στην ικανότητα συγκράτησης στοιχείων και κατιόντων στην αργιλική φάση του εδάφους.
- Το ισοδύναμο  $\text{CaCO}_3$  των εδαφών παρουσιάζει μέσο όρο 31,6%. Υψηλά ποσοστά ισοδύναμου  $\text{CaCO}_3$  παρατηρούνται στο δυτικό και νοτιοανατολικό τμήμα, όπου εμφανίζονται τα ανθρακικά πετρώματα, μάρμαρα κι ασβεστόλιθοι.
- Τα εδάφη είναι στην πλειοψηφία τους άγονα με χαμηλό δείκτη C/N (μ.ο.=3,96), με χαμηλή περιεκτικότητα σε οργανική ουσία (μ.ο.=2,3%) και Ικανότητα Ανταλλαγής Κατιόντων με μέσο όρο τιμών 39meq/100gr εδάφους. Υψηλές τιμές οργανικής ουσίας εντοπίζονται στα Δυτικά και Νοτιοανατολικά, σε μέρη όπου καλύπτονται από φυσική βλάστηση. Η χωρική κατανομή του λόγου C/N και της οργανικής ουσίας παρουσιάζουν ομοιότητες με χαμηλές τιμές στο κεντρικό καλλιεργούμενο τμήμα της περιοχής, υποδηλώνοντας την ύπαρξη μη γόνιμων εδαφών στον κάμπο των Μεσογείων λόγω της εντατικής καλλιέργειας.
- Τα ανταλλάξιμα κατιόντα Ca, K και Mg παρουσιάζουν χαμηλές τιμές (μέσοι όροι 42,7 , 6,65 και 0,59 meq/100gr εδάφους αντίστοιχα). Οι χωρικές κατανομές των στοιχείων αυτών παρουσιάζουν ομοιότητες με τις μέγιστες τιμές να εμφανίζονται στο δέλτα του Ερασίνου, πλησίον κτηνοτροφικής μονάδας.
- Τα ανταλλάξιμα κατιόντα Νατρίου παρουσιάζουν μέσο όρο τιμών 0,73meq/100γρ. εδάφους. Υψηλότερες συγκεντρώσεις εντοπίζονται στην παράκτια ζώνη λόγω της εναπόθεσης θαλάσσιου αερολύματος στα εδάφη και της υψηλής στάθμης του επηρεασμένου από την θάλασσα υδροφόρου.
- Τα ποσοστά αζώτου είναι σχετικά υψηλά (μ.ο.=0,35%). Η μέγιστη τιμή εντοπίστηκε δίπλα στα λιμνάζοντα νερά πηγής και πλησίον κτηνοτροφικής εγκατάστασης, λόγω του εμπλουτισμού του εδάφους με τα λύματα της κτηνοτροφικής μονάδας. Οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις εμφανίζονται στον



καλλιεργούμενο κάμπο των Μεσογείων, που πιθανόν αποδίδονται σε προσθήκη αζωτούχων λιπασμάτων και κοπριάς.

- Ο φώσφορος στα εδάφη παρουσιάζει μεγάλο εύρος τιμών, από 19,4 έως 211,8ppm και μέσο όρο τα 45,3ppm. Η μέγιστη τιμή εντοπίστηκε σε πλούσιο σε οργανική ουσία έδαφος στο δέλτα του Ερασίνου, πλησίον κτηνοτροφικής μονάδας. Η παρουσία του οφείλεται στην ικανότητα δέσμευσης αυτού από την οργανική ουσία και κυρίως στην απόληξη των κτηνοτροφικών αποβλήτων.
- Οι υψηλότερες τιμές ποσοστού οργανικής ουσίας, αζώτου και συγκεντρώσεων φωσφόρου παρατηρούνται πλησίον του δέλτα του Ερασίνου, λόγω κτηνοτροφικών αποβλήτων. Τα εδάφη στο δέλτα του Ερασίνου παρουσιάζουν υψηλές συγκεντρώσεις σε όλα τα στοιχεία που εξετάστηκαν λόγω της μεταφοράς κι εναπόθεσης φερτών υλικών στο δέλτα.
- Οι τιμές του Βαθμού Κορεσμού με Βάσεις είναι αρκετά υψηλές με μέσο όρο 99,8% λόγω της επικράτησης των ξηροθερμικών συνθηκών κλίματος και των αλκαλικών εδαφών.
- Οι υδατοδιαλυτές μορφές των βαρέων μετάλλων Fe, Cu και Mn παρουσιάζουν υψηλές συγκεντρώσεις, με δυνατότητα έκπλυσής τους προς τον υδροφόρο ορίζοντα τον οποίον εμπλουτίζουν με αυτά. Οι υδατοδιαλυτές μορφές των βαρέων μετάλλων Zn, Cd, Ni, Co, Pb και Cr παρουσιάζουν πολύ χαμηλές έως μηδενικές τιμές. Οι ανταλλάξιμες μορφές παρουσιάζουν υψηλές συγκεντρώσεις στα βαρέα μέταλλα Fe, Mn και Cu. Οι δεσμευμένες μορφές των βαρέων μετάλλων Cu, Fe, Mn, Pb και Zn στις ανθρακικές και οργανικές ενώσεις και τα οξείδια Fe & Mn παρουσιάζουν πολύ υψηλές συγκεντρώσεις.
- Η χρήση αγροχημικών (λιπασμάτων, εδαφοβελτιωτικών και φυτοφαρμάκων) και τα απόβλητα κτηνοτροφικών και βιομηχανικών συμβάλλουν σε μικρό ποσοστό στην κατά τόπους επιβάρυνση των εδαφών της περιοχής.
- Οι δεσμευμένες μορφές Fe στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών παρουσιάζουν μεγάλη απόκλιση από αυτές των υπόλοιπων εξετασθέντων βαρέων μετάλλων με μέσο όρο 7.441ppm. Ακολουθούν οι δεσμευμένες στο πλέγμα συγκεντρώσεις Mn με μέσο όρο 101,3ppm. Οι τιμές αυτές αποδίδονται στην ύπαρξη οξειδίων Fe & Mn, κάτι που επιβεβαιώνεται και από τα καστανοκόκκινα εδάφη της περιοχής έρευνας. Οι δεσμευμένες μορφές Zn, Pb και Cu στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών παρουσιάζουν μέσες τιμές 23,8, 6,2 και 7,5ppm αντίστοιχα, αποδιδόμενες στη διάβρωση των σχιστόλιθων και των μικτών θειούχων ορυκτών που απαντώνται στο γεωλογικό υπόβαθρο της περιοχής. Οι δεσμευμένες μορφές Ni και Cr στο πλέγμα με μέσους όρους 10,1 και 22ppm αντίστοιχα αποδίδονται στην ύπαρξη οφιολίθων και των προϊόντων εξαλλοίωσης αυτών. Τα βαρέα μέταλλα Cd και Co απαντώνται με τις μικρότερες συγκεντρώσεις στην φάση των δεσμευμένων στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών (0,6 και 1,7ppm αντίστοιχα).
- Τα μικτά θειούχα ορυκτά που απαντούν στην ευρύτερη περιοχή, οι σχιστόλιθοι κι οι οφιόλιθοι είναι οι κυριότερες γεωγενείς πηγές προέλευσης των βαρέων μετάλλων στα εδάφη.
- Από την παραγοντική ανάλυση των φυσικοχημικών παραμέτρων και των στοιχείων των εδαφών προκύπτει η συνύπαρξη του φωσφόρου, του αζώτου και της οργανικής ουσίας με τις ολικές συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων Zn, Cd και Pb, η απουσία γονιμότητας στον καλλιεργούμενο κάμπο καθώς κι η συμβολή

των ανθρακικών πετρωμάτων στη διαμόρφωση της σύστασης των εδαφών της περιοχής.

- Από την παραγοντική ανάλυση των βαρέων μετάλλων που απαντώνται στην φάση των δεσμευμένων μορφών στο κρυσταλλικό πλέγμα των ορυκτών του μητρικού πετρώματος προκύπτει πως τα βαρέα μέταλλα στα εδάφη προέρχονται σαφώς από τη διάβρωση των οφιολιθικών σωμάτων στο γεωλογικό υπόβαθρο της περιοχής (συνύπαρξη Cr και Ni), από την ύπαρξη οξειδίων του σιδήρου και μαγγανίου και από τη διάβρωση των μικτών θειούχων ορυκτών και σχιστόλιθων.

- Με βάση τα υδροχημικά χαρακτηριστικά των **υπόγειων νερών** της περιοχής διαπιστώνεται διαφοροποίηση του χημισμού βάσει της λιθολογικής ταξινόμησης στους τρεις σχηματισμούς:

*α) τα ύδατα τεταρτογενών και νεογενών σχηματισμών:* Τα ύδατα των χαλαρών αποθέσεων παρουσιάζουν υψηλή αλατότητα και σκληρότητα. Από την πλευρά των κατιόντων την πρώτη θέση κατέχουν τα ιόντα  $\text{Ca}^{2+}$  και ακολουθούν τα ιόντα  $\text{Na}^+$ , ενώ από την πλευρά των ανιόντων υπερτερούν τα  $\text{HCO}_3^-$  τα ιόντα  $\text{Cl}^-$  και  $\text{SO}_4^{=}$ . Οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες αντικατοπτρίζονται στις υψηλές συγκεντρώσεις νιτρικών ιόντων με μέσους όρους πολύ υψηλότερους του ανώτατου ορίου ποσιμότητας της οδηγίας της Ε.Ε, αμμωνιακών και φωσφορικών ιόντων.

*β) ύδατα ανθρακικών σχηματισμών:* Η ποιότητα των καρστικών νερών είναι καλύτερη συγκριτικά με τα ύδατα των τεταρτογενών και νεογενών σχηματισμών όσον αφορά την αλατότητα και τη σκληρότητα. Εξαιρέση αποτελούν τα ύδατα του καρστικού υδροφόρου που έχει υποστεί υφαλμύριση από τη διείσδυση της θάλασσας. Οι συγκεντρώσεις των νιτρικών, αμμωνιακών και φωσφορικών ιόντων παρατηρούνται μειωμένες συγκριτικά με αυτές των τεταρτογενών και νεογενών σχηματισμών.

- Διαφοροποίηση στα υδροχημικά χαρακτηριστικά των υπόγειων νερών παρατηρείται και μεταξύ παράκτιας και ενδοχωρικής περιοχής:

*α) παράκτια περιοχή:* Τα υπόγεια νερά του φρεάτιου ορίζονται της παράκτιας περιοχής χαρακτηρίζονται από υψηλές τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας, ολικής σκληρότητας και υψηλές συγκεντρώσεις  $\text{Na}^+$  και  $\text{Cl}^-$  που οφείλονται στη διείσδυση της θάλασσας.

*β) ενδοχωρική περιοχή:* Τα νερά διακρίνονται για την υψηλή σκληρότητά τους καθώς και τις υψηλές συγκεντρώσεις  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{=}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{HCO}_3^-$  και  $\text{SiO}_2$ . Η προέλευση των στοιχείων αυτών είναι γεωγενής και αποδίδεται σε φαινόμενα διάλυσης πετρωμάτων και κυρίως υπολειμματικών εβαποριτικών αλάτων. Η ανθρωπογενής επιβάρυνση του φρεάτιου υδροφορέα αντικατοπτρίζεται στις υψηλές συγκεντρώσεις  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$  και  $\text{PO}_4^{3-}$  καθώς και πολλών βαρέων μετάλλων.

- Όλα τα στοιχεία καθώς κι οι φυσικοχημικές παράμετροι EC, TDS και Ολική Σκληρότητα παρατηρούνται την υγρή περίοδο αυξημένα συγκριτικά με την ξηρή, λόγω της έκπλυσης ρυπαντικών στοιχείων με το βρόχινο νερό και εμπλουτισμού των υδροφόρων με τα προϊόντα διάλυσης των πετρωμάτων.

- Οι μέσοι όροι των συγκεντρώσεων όλων των φυσικοχημικών παραμέτρων και στοιχείων διαφοροποιούνται από την ξηρή στην υγρή περίοδο ως εξής: Η θερμοκρασία μειώνεται από τους  $18,7^\circ\text{C}$  στους  $18^\circ\text{C}$ . Το pH παραμένει σχεδόν σταθερό από 7,55 στο 7,5. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα αυξάνεται από τα  $1771\mu\text{S}/\text{cm}$  στα  $1786\mu\text{S}/\text{cm}$ . Τα TDS αυξάνονται από τα  $1410\text{mg}/\text{l}$  στα  $1514\text{mg}/\text{l}$ .

Η ολική σκληρότητα αυξάνεται από τους 33,1<sup>o</sup>dH στους 36,7<sup>o</sup>dH. Τα Ca<sup>2+</sup> αυξάνονται από τα 133mg/l στα 149,7mg/l. Τα Mg<sup>2+</sup> αυξάνονται από τα 63,7mg/l στα 68,5mg/l. Τα HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> αυξάνονται από τα 412mg/l στα 459,1mg/l. Τα ιόντα νατρίου Na<sup>+</sup> παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη διαφοροποίηση μεταξύ των δύο περιόδων με συγκεντρώσεις 150mg/l την ξηρή περίοδο που αυξάνονται στα 220,2mg/l την υγρή. Τα ιόντα χλωρίου Cl<sup>-</sup> αυξάνονται από τα 290mg/l στα 313mg/l. Τα ιόντα Na<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup> κι η ηλεκτρική αγωγιμότητα παρατηρούνται επίσης αυξημένα την υγρή περίοδο στην παράκτια ζώνη λόγω του εμπλουτισμού του υδροφόρου με θαλασσίνο νερό. Τα K<sup>+</sup> αυξάνονται από τα 10,2 mg/l στα 11,7 mg/l. Τα SO<sub>4</sub><sup>=</sup> αυξάνονται από τα 188mg/l στα 217mg/l. Τα NO<sub>3</sub><sup>-</sup> αυξάνονται από τα 54,9mg/l στα 68,1mg/l. Τα NH<sub>4</sub><sup>+</sup> αυξάνονται από τα 1,3mg/l στα 1,6 mg/l. Τα PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> αυξάνονται από τα 0,32 mg/l στα 0,4 mg/l.

- Οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων Fe, Mn, Cu, Cr, Cd και Ni παρατηρούνται αυξημένες προς το δυτικό τμήμα της περιοχής που σχετίζονται με την παρουσία των διαφόρων οξειδίων, των θειούχων ορυκτών που συνυπάρχουν εντός των ηφαιστειακών πετρωμάτων των οφιολίθων και των σχιστόλιθων, καθώς και των πύσεων που δέχεται ο υδροφόρος από ανθρωπογενείς δραστηριότητες.
- Η γεωγενής προέλευση των στοιχείων Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Na<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup> αποδεικνύεται μέσω του στατιστικού ελέγχου των δύο μέσων σε επίπεδο σημαντικότητας 5% ( $\alpha=0,05$ ). Σταθερές ανθρωπογενείς δραστηριότητες αντικατοπτρίζεται στη μη σημαντική διαφορά των δύο μέσων ( $\alpha=0,05$ ) των στοιχείων NH<sub>4</sub><sup>+</sup> και PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>. Τα SO<sub>4</sub><sup>=</sup> προέρχονται αφενός από γεωγενείς παράγοντες (γύψος και ανυδρίτης), αφετέρου από ανθρωπογενείς δραστηριότητες, όπως τα αγροχημικά κι η έκπλυση μη στεγανών σηπτικών βόθρων, κάτι που φαίνεται στη στατιστικά σημαντική διαφορά ( $\alpha=0,05$ ) της υγρής περιόδου. Η μη στατιστικά σημαντική ( $\alpha=0,05$ ) διαφορά των δύο μέσων των νιτρικών ιόντων συνδέεται με τη χρόνια εφαρμογή αζωτούχων λιπασμάτων και οργανικής ύλης στις καλλιέργειες του κάμπου Μεσογείων.
- Από την παραγοντική ανάλυση στα υπόγεια νερά προκύπτουν παράγοντες γεωγενούς προέλευσης (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Na<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup> – Sr, Cu, Cd, Ni, Mn), στοιχεία ανθρωπογενούς προέλευσης (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>=</sup> – Br, I, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> – PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, K<sup>+</sup> – NO<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) και θαλάσσιας διείσδυσης στην παράκτια ζώνη (SO<sub>4</sub><sup>=</sup> Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, F<sup>-</sup> – SO<sub>4</sub><sup>=</sup>, Na<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>).
- Με βάση τις ιοντικές σχέσεις, τα νερά της ενδοχωρικής ζώνης προέρχονται από διάλυση υπολειμματικών εβαποριτικών αλάτων. Το 100% των υπόγειων υδάτων περιέχουν στοιχεία που προέρχονται από τη διάλυση αλύτη (NaCl) και ανυδρίτη (CaSO<sub>4</sub>). Το 87,23% αυτών προέρχονται από την διάλυση δολομίτη (CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>) και μόλις το 24,47% αυτών από την διάλυση ασβεστίτη (CaCO<sub>3</sub>). Τα περισσότερα νερά είναι κορεσμένα σε δολομίτη, ασβεστίτη και αραγωνίτη, πολύ λίγα είναι κορεσμένα σε μαγνησίτη (MgCO<sub>3</sub>) και ελάχιστα σε στροντιανίτη (SrCO<sub>3</sub>) και σιδερίτη. Το 100% είναι ακόρεστα σε ανυδρίτη και γύψο.
- Σύμφωνα με το διάγραμμα **Piper** παρατηρείται η κυριαρχία γαιοαλκαλικών θεικών νερών με υψηλό ποσοστό αλκαλίων κι ακολουθούν τα χλωροθειικά νερά και γαιοαλκαλικά οξυανθρακικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων. Τα υπόγεια νερά της λεκάνης κατατάσσονται στους ακόλουθους γενικούς τύπους:  
*a) Ca-HCO<sub>3</sub> και Ca-Mg-HCO<sub>3</sub> (γαιοαλκαλικά – οξυανθρακικά νερά):* Πρόκειται για φρέσκα νερά εμπλουτισμού όπου παρατηρείται κυριαρχία της όξινης ανθρακικής ρίζας (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>). Διακρίνονται νερά όπου κυριαρχεί το Ca<sup>2+</sup>, τα

οποία βρίσκονται στο Δυτικό τμήμα και τροφοδοτούνται με φρέσκο νερό και νερά όπου κυριαρχεί το  $Mg^{2+}$ , τα οποία απαντώνται στο Βόρειο-Δυτικό και Κεντρώο τμήμα και προέρχονται από τη διάλυση οφιολίθων και δολομίτων.

**β)  $Ca-Mg-HCO_3-SO_4$  (γαιοαλκαλικά – οξυανθρακικά – θειικά νερά):** Πρόκειται για φρέσκα νερά εμπλουτισμού, στα οποία συμμετέχει στην πλευρά των ανιόντων εκτός των οξυανθρακικών και τα θειικά ιόντα. Εμφανίζονται κυρίως στα ύδατα των νεογενών σχηματισμών και δευτερευόντως στα ύδατα των ανθρακικών σχηματισμών

**γ)  $Ca-Mg-SO_4$  (γαιοαλκαλικά – θειικά νερά):** Πρόκειται για φρέσκα νερά εμπλουτισμού, στα οποία συμμετέχουν στην πλευρά των ανιόντων σε μεγάλο ποσοστό τα θειικά ιόντα. Ο υδροχημικός αυτός τύπος εμφανίζεται σε μικρό ποσοστό μόνο στα ύδατα των τεταρτογενών και νεογενών σχηματισμών.

**δ)  $Mg-Ca-Na-HCO_3-Cl$  (γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων):** Πρόκειται για νερά ακαθορίστου υδροχημικού τύπου. Εμφανίζονται κυρίως στα ύδατα των νεογενών σχηματισμών.

**ε)  $Mg-Ca-Na-SO_4-HCO_3-Cl$  (γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων- θειικά):** Πρόκειται για νερά ακαθορίστου υδροχημικού τύπου. Ο υδροχημικός αυτός τύπος συμμετέχει στο μεγαλύτερο ποσοστό των δειγμάτων τόσο κατά την ξηρή όσο και κατά την υγρή περίοδο.

**στ)  $Na-HCO_3-Cl$  (αλκαλικά – οξυανθρακικά νερά):** Πρόκειται για νερά τα οποία επηρεάζονται από την θαλάσσια διείσδυση την υγρή περίοδο. Ο υδροχημικός αυτός τύπος εμφανίζεται σε πολύ μικρό ποσοστό στα ύδατα των νεογενών σχηματισμών μόνο την υγρή περίοδο.

**ζ)  $Na-Cl$  (αλκαλικά – χλωροθειικά νερά):** Στην ομάδα αυτή συμμετέχει ελάχιστος αριθμός δειγμάτων, τα οποία φαίνεται να επηρεάζονται από την θαλάσσια διείσδυση.

- Σύμφωνα με το διάγραμμα **Durov** παρατηρείται η επικράτηση των πεδίων 2 (υδροχημικός τύπος  $Mg-HCO_3$ ) και 8 (υδροχημικός τύπος  $Mg-Cl$ ) στα υπόγεια ύδατα. Πιο αναλυτικά παρουσιάζονται τα ακόλουθα πεδία:

**Ομάδα 1<sup>οο</sup> Πεδίου (υδροχημικός τύπος  $Ca-HCO_3$ ):** Εμφανίζονται τα φρέσκα νερά εμπλουτισμού, στα οποία κυριαρχούν τα  $HCO_3^-$  και  $Ca^{+2}$ . Πρόκειται για υπόγεια νερά που προέρχονται κυρίως από τα δυτικά τμήματα της περιοχής.

**Ομάδα 2<sup>οο</sup> Πεδίου ( $Mg-HCO_3$ ):** Πρόκειται για υπόγεια νερά που προέρχονται κυρίως από τα δυτικά τμήματα της περιοχής (Παιανία και Κορωπί). Επικρατεί η ανταλλαγή κατιόντων με κυρίαρχο ανιόν την οξυανθρακική ρίζα και κατιόν το μαγνήσιο. Φανερώνουν την πλήρη εξέλιξη του φαινομένου της κατιοανταλλαγής.

**Ομάδα 3<sup>οο</sup> Πεδίου ( $Na-HCO_3$ ):** Πρόκειται για υπόγεια νερά που προέρχονται από την παράκτια ζώνη της περιοχής. Κυριαρχούν τα  $Na^+$  και τα  $HCO_3^-$ . Τα νερά αυτά βρίσκονται στο τελικό στάδιο της διαδικασίας της κατιοανταλλαγής. Το πεδίο αυτό απουσιάζει από τα ύδατα των ανθρακικών σχηματισμών.

**Ομάδα 7<sup>οο</sup> Πεδίου ( $Ca-Cl$ ):** Πρόκειται για νερά που πηγάζουν από τον Ερασίνο στα σημεία πλησίον και αριστερά του νότιου τμήματος του Διεθνούς Αερολιμένα Αθηνών. Στην ομάδα αυτή κυριαρχούν τα ιόντα  $Ca^{2+}$  και  $Cl^-$ . Το φαινόμενο της αντίστροφης κατιοανταλλαγής βρίσκεται σε εξέλιξη. Τα νερά της κατηγορίας αυτής θεωρούνται ακατάλληλα για άρδευση, καθώς οδηγούν τα εδάφη σε σταδιακή υποβάθμιση. Στο πεδίο αυτό εμφανίζεται πολύ μικρό ποσοστό των υπόγειων υδάτων των νεογενών σχηματισμών.

**Ομάδα 8<sup>οο</sup> Πεδίου ( $Mg-Cl$ ):** Πρόκειται για υπόγεια νερά που προέρχονται κυρίως από την παράκτια ζώνη αλλά και από κεντρικά τμήματα της περιοχής. Πρόκειται

για νερά όπου το φαινόμενο της αντίστροφης κατιοανταλλαγής βρίσκεται σε πλήρη εξέλιξη.

**Ομάδα 9<sup>ο</sup> Πεδίου (Na-Cl):** Πρόκειται για υπόγεια νερά που τροφοδοτούνται από τον καρστικό υδροφόρο ορίζοντα που βρίσκεται κάτω από το επίπεδο της θάλασσας ή για νερά της παράκτιας ζώνης. Το φαινόμενο της αντίστροφης κατιοανταλλαγής βρίσκεται πλέον στο τελικό στάδιο. Κυριαρχούν τα  $\text{Na}^+$  και τα  $\text{Cl}^-$  που σημαίνει τελικά νερά πεδίου ροής.

- Σύμφωνα με τα σταθερότυπα πόσιμου νερού (Οδηγία 80/778 και 98/83) της Ε.Ε. το 96,5% των υπόγειων υδάτων της περιοχής έρευνας θεωρούνται ακατάλληλα για ανθρώπινη κατανάλωση, καθόσον οι τιμές συγκέντρωσης των κύριων στοιχείων και ιχνοστοιχείων ξεπερνά τα ανώτατα επιτρεπτά όρια της Ε.Ε. Το απαγορευτικό καθεστώς ποσιμότητας των υπόγειων υδάτων συνδέεται με υψηλές συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων Cu, Zn, Cd, Pb, Mn, Ni, Cr, Fe και των στοιχείων  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  και  $\text{NH}_4^+$ .
- Σύμφωνα με τις μεθόδους Richards και Wilcox τα νερά της περιοχής είναι στην πλειοψηφία τους μέσης ποιότητας για άρδευση. Τα υπόγεια ύδατα της παράκτιας ζώνης είναι μέσης προς κακής ποιότητας κι ακατάλληλα για άρδευση. Πιο συγκεκριμένα, σύμφωνα με τη μέθοδο Richards τα ύδατα των τεταρτογενών και νεογενών σχηματισμών ανήκουν κυρίως στα μέσης ποιότητας που ενδείκνυται για άρδευση υπό περιορισμούς κι ακολουθούν τα μέσης ποιότητας για άρδευση. Τα ύδατα των ανθρακικών σχηματισμών ανήκουν κυρίως στα μέσης ποιότητας που ενδείκνυται για άρδευση υπό περιορισμούς κι ακολουθούν τα καλής ποιότητας για άρδευση. Σύμφωνα με τη μέθοδο Wilcox τα ύδατα των τεταρτογενών και νεογενών σχηματισμών ανήκουν κυρίως στα καλά μέχρι αποδεκτά αρδευτικά νερά κι ακολουθούν τα αμφίβολα και ακατάλληλα νερά. Στα ύδατα των ανθρακικών σχηματισμών επικρατούν επίσης τα καλά μέχρι αποδεκτά αρδευτικά νερά αλλά ακολουθούν τα εξαιρετικά μέχρι καλά ύδατα για άρδευση. Τα επιφανειακά ύδατα ανήκουν εξ ολοκλήρου στα καλά μέχρι αποδεκτά αρδευτικά νερά.
- Τα υδροχημικά χαρακτηριστικά των **επιφανειακών νερών**, παρουσιάζουν ομοιότητα με τα αντίστοιχα των υπόγειων νερών της ενδοχωρικής ζώνης με υψηλές συγκεντρώσεις στα στοιχεία  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{HCO}_3^-$  και  $\text{SiO}_2$  που συνδέονται με τη διάλυση των πετρωμάτων των ποτάμιων υποβάθρων. Η ανθρωπογενής επιβάρυνση των επιφανειακών νερών είναι έντονη σε όλα τα επιφανειακά νερά που πηγάζουν απ' το κέντρο της περιοχής έρευνας με υψηλές τιμές κυρίως σε  $\text{PO}_4^{3-}$  και  $\text{NO}_3^-$  που αντικατοπτρίζουν τη μεταφορά ρυπαντικού φορτίου που προέρχεται από την εφαρμογή αγροχημικών στις καλλιεργούμενες εκτάσεις. Οι συγκεντρώσεις μειώνονται οδεύοντας προς τις εκβολές λόγω διαδικασιών καθίζησης, ιζηματογένεσης κι απορρόφησης από το πλαγκτόν.
- Η χημική σύνθεση του Μεγάλου Ρέματος διαφοροποιείται μεταξύ του κύριου κλάδου και του δευτερεύοντα Βαλανήρη. Ο Βαλανήρης παρουσιάζει χαμηλότερες τιμές σκληρότητας και συγκεντρώσεων  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  και  $\text{NO}_3^-$ , λόγω της διάλυσης των πετρωμάτων του μεταμορφωμένου μανδύα της Πεντέλης και των λιγοστών χρήσεων γης στα ανάντη. Στην εκβολή παρατηρούνται αυξημένες συγκεντρώσεις  $\text{PO}_4^{3-}$ , λόγω της εισροής αστικών λυμάτων και υψηλές συγκεντρώσεις  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  λόγω εμπλουτισμού με θαλάσσια αερολύματα. Η μόνιμη ροή του κύριου κλάδου, ακόμη και τους άνομβρους μήνες καθώς και οι υψηλές συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων και ιχνοστοιχείων ενισχύει την άποψη

εισροής υδάτων ανθρωπογενούς προέλευσης στο Μεγάλο Ρέμα (νερά στράγγισης καλλιεργειών, αστικά λύματα και απόβλητα ελαφρών βιομηχανιών).

- Τα ύδατα του Ερασίνου παρουσιάζουν μεγαλύτερη σκληρότητα απ' την αντίστοιχη του Μεγάλου Ρέματος. Η υπερβολική εφαρμογή αγροχημικών στις καλλιέργειες, η εισροή αποβλήτων κτηνοτροφιών και άλλων ανθρωπογενών λυμάτων αντικατοπτρίζεται στις υψηλές συγκεντρώσεις  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{NH}_4^+$  και  $\text{NO}_3^-$  και βαρέων μετάλλων.
- Στα επιφανειακά ύδατα, με βάση το διάγραμμα **Durov** διαπιστώνονται τρεις ομάδες που εμφανίζονται από τα ανάντη έως τις εκβολές τους:

**Ομάδα 1<sup>ο</sup> Πεδίου (Ca-HCO<sub>3</sub>):** εντοπίζονται στα ανάντη της λεκάνης απορροής του Μεγάλου Ρέματος, στον κλάδο Βαλανήρη που προέρχεται από τη διάλυση του μεταμορφωμένου μανδύα της Πεντέλης. Είναι προφανώς φρέσκα νερά, τα οποία δεν έχουν υποστεί ακόμη την επίδραση των άλλων διαφορετικής προέλευσης εισρεόντων νερών.

**Ομάδα 2<sup>ο</sup> Πεδίου (Mg-HCO<sub>3</sub>):** εντοπίζονται στα κεντρικά τμήματα ροής και των δυο ρεμάτων. Οι επιφανειακές επιδράσεις που δέχονται οδηγούν στην διαφοροποίηση των ποιοτικών τους χαρακτηριστικών. Τα εισερχόμενα νερά, επιφανειακά ή και υπόγεια μέσω πλευρικής διήθησης διαμορφώνουν τον υδροχημικό τύπο Mg-HCO<sub>3</sub>. Κυρίαρχο ανιόν είναι η οξυανθρακική ρίζα και κατιόν το μαγνήσιο.

**Ομάδα 8<sup>ο</sup> Πεδίου (Mg-Cl):** εντοπίζονται στην εκβολή του Ερασίνου την ξηρή περίοδο, λόγω της θαλάσσιας επίδρασης. Στην ομάδα αυτή κυριαρχεί το Cl<sup>-</sup> και το Mg<sup>2+</sup>. Πρόκειται για νερά όπου το φαινόμενο της αντίστροφης κατιοανταλλαγής βρίσκεται σε πλήρη εξέλιξη.

- Από την παραγοντική ανάλυση των επιφανειακών υδάτων προκύπτουν ομάδες παραγόντων γεωγενούς προέλευσης (διάλυση ασβεστολίθων, εβαποριτών, σχιστόλιθων και οφιολίθων) που εξηγούν πάνω από το 80% της ολικής διακύμανσης καθώς και ομάδες παραγόντων ανθρωπογενούς προέλευσης που συνδέονται με τα στοιχεία Br<sup>-</sup>, I<sup>-</sup>, Υδραζίνες, Φαινόλες και Κάδμιο.
- Το ολικό φορτίο μεταφοράς φωσφορικών, νιτρικών κι αμμωνιακών ιόντων στις εκβολές του Ερασίνου και του Μεγάλου Ρέματος είναι υψηλό που συμβάλλει στην εμφάνιση ευτροφικών καταστάσεων των κόλπων Βραυρώνας και Ραφήνας. Διαπιστώθηκε ότι μέσα από το Μεγάλο Ρέμα μετακινήθηκαν μέσα στο υδρολογικό έτος 2005-2006 σημαντικά φορτία θρεπτικών στοιχείων όπως  $\text{NO}_3^-$ : 284,6 τόνοι,  $\text{NH}_4^+$ : 7,91 τόνοι και  $\text{PO}_4^{3-}$ : 1,7 τόνοι και μέσα από τον Ερασίνο  $\text{NO}_3^-$ : 89,4 τόνοι,  $\text{NH}_4^+$ : 4,54 τόνοι και  $\text{PO}_4^{3-}$ : 1 τόνοι. Το ολικό ετήσιο φορτίο μεταφοράς βαρέων μετάλλων στην εκβολή του Μεγάλου Ρέματος είναι 28,794 τόνοι με προεξάρχουσα θέση αυτή του στρόντιου. Αντίθετα στον κόλπο της Βραυρώνας μεταφέρονται ετησίως με τον Ερασίνο 8,731 τόνοι διαφόρων βαρέων μετάλλων. Το μεγαλύτερο ποσοστό κατέχουν τα στοιχεία στρόντιο, χρώμιο και ψευδάργυρος.
- Από τη σύγκριση των χωρικών κατανομών των αποτελεσμάτων των υδροχημικών κι εδαφοχημικών αναλύσεων προκύπτουν οι εξής συσχετίσεις:  
-Οι χωρικές κατανομές των δεσμευμένων μορφών Fe, Mn και Cu στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών παρουσιάζουν ομοιότητες με τις αντίστοιχες των υπόγειων υδάτων με αυξητική τάση προς το δυτικό τμήμα λόγω της διάλυσης των μικτών θειούχων ορυκτών και των οφιολιθικών σωμάτων του γεωλογικού υποβάθρου.

-Οι χωρικές κατανομές των δεσμευμένων μορφών Cd και Zn στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών παρουσιάζουν ομοιότητες με τις αντίστοιχες των υπόγειων υδάτων με αυξητική τάση προς το νότιο τμήμα λόγω της διάλυσης των μεταμορφωμένων πετρωμάτων του γεωλογικού υποβάθρου.

-Οι χωρικές κατανομές των δεσμευμένων μορφών Ni και Cr στο πλέγμα των πρωτογενών ορυκτών παρουσιάζουν ομοιότητες με τις αντίστοιχες των υπόγειων υδάτων με αυξητική τάση από το δυτικό τμήμα, όπου εμφανίζονται οι οφιόλιθοι, προς την εκβολή του Ερασίνου, λόγω της μεταφοράς του αποσαθρωμένου οφιολιθικού υλικού και της εναπόθεσής του στα ιζήματα και στην κοίτη.

-Οι συγκεντρώσεις Mg και Ca παρουσιάζουν σχετική ομοιότητα στις χωρικές κατανομές των υπόγειων υδάτων και των εδαφών, υποδηλώνοντας την γεωγενή προέλευση αυτών.

-Οι συγκεντρώσεις νατρίου παρατηρούνται αυξημένες στην παράκτια ζώνη τόσο στα υπόγεια ύδατα όσο και στα εδάφη. Η συσχέτιση αυτή αποδίδεται στην θαλάσσια επιρροή (διείσδυση στον υδροφόρο, υψηλή στάθμη του υφάλμυρου υδροφόρου, εναπόθεση θαλάσσιου σπρέι στα εδάφη) στα υπόγεια ύδατα και τα εδάφη της παράκτιας ζώνης.

-Τέλος, η χωρική κατανομή των νιτρικών ιόντων των υπόγειων υδάτων και του ποσοστού αζώτου (N%) στα εδάφη παρουσιάζει αυξητικές τάσεις προς το κεντρικό-δυτικό τμήμα όπου επικρατούν οι καλλιέργειες του Κορωπίου. Οι υψηλές συγκεντρώσεις σχετίζονται με εφαρμογή αζωτούχων λιπασμάτων και κοπριάς στις καλλιέργειες.

- Η περιοχή έρευνας υφίσταται ήδη τα πρώιμα στάδια της ερημοποίησης. Οι επερχόμενες κλιματικές αλλαγές αναμένεται να επηρεάσουν και την περιοχή έρευνας. Αν δεν υπάρξουν δραστικά μέτρα πρόληψης, η περιοχή θα εμφανίσει έντονα σημάδια ερημοποίησης με ιδιαίτερα υψηλές θερμοκρασίες τους θερινούς μήνες, μείωση των αποθεμάτων νερού στους υδροφόρους, υποβάθμιση της ποιότητας των υπόγειων κι επιφανειακών υδάτων, υποβάθμιση των εδαφικών πόρων κι άνοδο της θαλάσσιας στάθμης με άμεσες επιπτώσεις στην παράκτια ζώνη.



## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Abbas H. and Seyed Ali H.A.2011. *Determination of Cd, Zn, K, pH, TNV, Organic Material and Electrical Conductivity (EC) Distribution in Agricultural Soils using Geostatistics and GIS (Case Study: South- Western of Natanz- Iran)*. World Academy of Science, Engineering and Technology 60: 22-25
- Abollino A., A.Giacomino, M. Malandrino and E.Mentasti. 2005. *The use of Sequential extraction procedures for the characterization and management of contaminated soils*. Societa Chimica Italiana, Anal di Chimica 95.
- Αγγελίδης, Σ. 1998. *Ποιότητα νερού άρδευσης* ,Συμπληρωματικές σημειώσεις στο μάθημα «Φυσική Εδάφους» του 7ου εξαμήνου του τομέα προστασίας υδατικών πόρων του τμήματος ΑΦΠ&ΓΜ, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών
- Adeyemo O.K., O.A. Adedokun, R.K. Yusuf, E.A. Adeleye. 2008. *Seasonal changes in physico-chemical parameters and nutrient load of river sediments in Badan City, Nigeria*. Global Nest, Vol.10, No 3, pp326-336
- Admiraal W. and van Zanten B. 1988. *Impact of biological activity on detritus transported in the lower river Rhine: an exercise in ecosystem analysis*. Freshwat. Biol. 20: 215-225.
- Adriano D.C. 1986. *Trace elements in the terrestrial environment*. Springer-Verlag, New York.
- Adriano D.C., W.W. Wenzel, J. and N.S. Vangronsveld, Bolan. 2004. *Role of assisted natural remediation in environmental cleanup*. Geoderma 122:121-142
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry, U.S. Department Of Health And Human Services, Public Health Service, 1997. *Hydrazine CAS # 302-01-2, 1,1-Dimethylhydrazine CAS # 57-14-7, 1,2- Dimethylhydrazine CAS # 540-73-8* in <http://www.atsdr.cdc.gov/tfacts100.pdf>
- Ahl R. and Oden S. 1971. *Preliminary report on the transport of presumptive pollutant to the Baltic sea from Sweden. River discharges of total nitrogen, total phosphorus and organic matter* . In: Soviet-Swed. Symp. on the Poll. of the Baltic, Stockholm.
- Aikawa, J.K. 1971. *The relationship of magnesium to disease in domestic animals and in humans*. 1sted, Springfield: Charles C Thomas, 1971 , pp 10-36.
- Αλεξάκης Δ. 2002. *Επίδραση γεωλογικών και ανθρωπογενών παραγόντων στη χημική σύσταση και ποιότητα υπόγειων νερών της Ανατολικής Αττικής*. Διδακτορική διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών. σελ. 261
- Alexakis, D., A. Kelepertsis 1998. *The relationship between the chemical composition-quality of groundwater and the geological environment in the East Attiki area, Greece*, Mineral Wealth 109: 9-20.
- Αλεξανδρής Σ., 2012. *Κλιματική Αλλαγή - Η πιο καλοστημένη απάτη του αιώνα μας* in [http://thesecretrealtruth.blogspot.com/2011/05/blog-post\\_127.html#ixzz1mkJ7fbgT](http://thesecretrealtruth.blogspot.com/2011/05/blog-post_127.html#ixzz1mkJ7fbgT)
- Αλεξανδρής Σ., 2012. *Κλιματική Αλλαγή: Μια ενοχλητική αλήθεια ή μια εξαιρετικά δημοφιλής αυταπάτη;* in [http://wrm.aua.gr/STALEXWEB/climate/Clima\\_1\\_2.htm](http://wrm.aua.gr/STALEXWEB/climate/Clima_1_2.htm)
- Allen, L.H, and R.L. Wood. 1994 *Calcium and phosphorus*, pp. 144-163. In: M.E. Shills et al (Eds), vol I. Modern nutrition in health and disease. Lea and Febiger, Philadelphia, PA.
- Allison,L.E., Moodie, C.D.,1965. *Carbonate* .In: Black, C.A., editot-in-chief. Methods of soil analysis, Part 2. Chemical and Microbiological Properties. Madison, WI: American Society of Agronomy, Inc: 1379-1396
- Alloway B.J. 1995. *Heavy metals in soils* 2<sup>nd</sup> edition, Blackie Academic & Professional, London, p.368.
- Alloway B.J. and E. Steinnes. 1999. *Anthropogenic addition of cadmium in soils*. In: McLaughlin MJ, Singh BR (eds) Cadmium in soils and plants. Kluwer Acad Publ., London, pp:97-123.
- Alumaa P., U. Kirso, V. Petersell and E. Steinnes. 2002. *Sorption of toxic heavy metals to soil: short communication*. Int. J.Hyg. Environ. Health 204:375-376

- Andersson A. and G. Siman 1991. *Levels of Cd and Some other Trace Elements in Soils and Crops as Influenced by Lime and Fertilizer Level*. Acta Agriculturae Scandinavica, Vol. 41, Issue 1, p: 3 – 11
- Αντωνίου, Β. 2010. *Ανάλυση ανάγλυφου και γεωτεκτονική δομή Ανατολικής Αττικής*. Διδακτορική Διατριβή. Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, σελ. 307
- Αντωνόπουλος, Β. 2000. *Ποιότητα και Ρύπανση Υπόγειων Υδάτων*, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη. σελ. 346
- Apello, C.A.J., D.Postma. 1996. *Geochemistry, groundwater and pollution*, Balkema, Rotterdam. p. 670
- Armienta M.A., R. Rodriguez, N. Cenicerros, F. Juárez and O. Cruz. 1996. *Distribution, origin and fate of chromium in soils in Guanajuato*, Mexico. Environ. Pollut. 93:391-397
- Arnell N.W. 1999. *Climate change and global water resources*. Global environmental Change, Vol. 9: S31-S49
- Atsarou A. and M. Economou-Eliopoulos .2012. *Contamination by Cr(vi) and other heavy metals in groundwater, soil and crops at Avlona (Greece)*. Proceedings of the International Conference: “Protection and Restoration of the Environment XI”, Aristotle University of Thessaloniki, 3– 6 July 2012. Thessaloniki
- Bache B.W. 1979. *Activity ratio*. Encyclopedia of Soil Science. Fairbridge RW and Finkl C Weds. pp:4-8
- Bai, Y. and Wang Y. 2011. *Spatial Variability of Soil Chemical Properties in a Jujube Slope on the Loess Plateau of China*. Soil Science: Volume 176 - Issue 10 - pp 550-558
- Baltas E.A., N.A. Dervos and M.A. Mimikou. 2010. *Impact of changing rainfall conditions on surface and groundwater resources in an experimental watershed in Greece*. Global Nest, Vol. 12, No 2, pp 119-125
- Bartlett R.J. 1999. *Characterizing soil redox behavior* In: sparks DL (eds) Soil physical chemistry, 2<sup>nd</sup> ed., CRC Press, Boca raton, FL, pp. 371-197
- Bathrellos G.D., H.D. Skillodimou, A. Kelepertsis, D. Alexakis, I. Chrisanthaki, D. Archonti. 2008. *Environmental research of groundwater in the urban and suburban area of Attica region, Greece*. Environmental Geology 56: 11-18
- Βασιλακιώτης, Γ.Σ., Κ.Κ. Φυτιάνος 1986, *Μέθοδοι Ελέγχου Ρυπάνσεως Περιβάλλοντος*, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη . σελ. 240
- Baumgardner, M.F., S.F. Silva, L.L. Biehl, E.R. Stoner. 1985. *Reflectance properties of soils*. Adv. In Agronomy, 38: 1-39
- Βαφειάδης Ν., 2011. *Αεροδρόμιο «Ελευθέριος Βενιζέλος», Περιβαλλοντικά δεν πετάει*, άρθρο της Καθημερινής της Κυριακής (20 Νοεμβρίου 2011)
- Bellos D. and Sawidis T. 2005. *Chemical pollution monitoring of river Pinios Thessalia, Greece*. J. Environ. Management in press.
- Bentliff J.L., B. Davies, C. Gaffney, A. Snodgress, A. Waters. 1990. *Trace metals Accumulations in Soils on and around Ancient Settlements in Greece*, In: Man’s Role in the Shaping of the Eastern Mediterranean Landscape, Bottema, Entjes-Nieborg & Van Zeist (eds), Balkema, Rotterdam
- Βουδούρης, Κ. 2009. *Υδρογεωλογία Περιβάλλοντος, Υπόγεια νερά και περιβάλλον*, Εκδόσεις Τζιόλα, Αθήνα. σελ. 460
- Βουδούρης, Κ., 1995. *Υδρογεωλογικές συνθήκες του ΒΑ τμήματος του νομού Αχαΐας*. Διδακτορική διατριβή, Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Γεωλογίας, σελ. 230
- Bowen, H.J.M. 1979. *Environmental Chemistry of the Elements*, Academic Press, London. p. 316
- Bouyoukos, G.H. 1951. *Recalibration of the hydrometer method for making mecganical analysis of soil*. Agricultural Journal 43: 434-438
- Boyle R.W. and Robinson H.A. 1988. *Nickel and its role in biology*. Metal ions in biological systems. Sigel H. and sigel A. eds. Vol.23, pp.123-164
- Brady, N.C. 1984. *The Nature and Properties of Soils*, 9<sup>th</sup> edn, Collier Macmillan, New York p. 672
- Brady N.C. and R.R Weil. 1996. *The Nature and Properties of Soil*, 11<sup>th</sup> edition, P.H.I. USA. P. 108

- Bremner, J.M. and Mulvaney, C.S., 1982. **Total Nitrogen**. In A.L. Page, R.H. Miller and D.R. Keeney (ed.): *Methods of Soil Analysis (Part 2): Chemical and Microbiological Properties*, 2<sup>nd</sup> edn. ASA, SSSA, Madison, WI, pp.595-624
- Bricker O. P. and Jones B. F. 1995. **Main factors affecting the composition of natural waters**. In: Salbu, B., E. Steinnes, Eds. *Trace elements in natural waters*. Boca Raton: CRC Press, 1-5.
- Bridges E.M. 1978. *World Soils*, Cambridge University Press, London, 128p.
- Burdon, D. and N. Papakis. 1963. **Handbook of karst Hydrogeology with special Reference on Carbonate Aquifers of the Mediterranean Region**. I.G.S.R., p. 276, Athens
- Burrough, P.H. and R.A. McDonnell. 1998. **Principles of Geographical Information Systems**. 2<sup>nd</sup> ed., Oxford University Press, 352p.
- Busman L., Lamb J., Randall G., Rehm G. and Schmitt M. 2009. **The Nature of Phosphorus in Soils, Phosphorus in the Agricultural Environment**, University of Minnesota, in <http://www.extension.umn.edu/distribution/cropsystems/DC6795.html>
- Βρυνιώτης Δ. και Κ. Παπαδοπούλος. 2004. **Ο ρόλος των ποταμών Λούρου και Αράχθου στην ανάπτυξη των ιζημάτων της πεδιάδας της Άρτας με τη συμβολή γεωχημικών παραμέτρων**. Πρακτικά 10<sup>ου</sup> Διεθνούς Συνεδρίου, Θεσ/νίκη, Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας τομ. XXXVI: 150-157
- Campbell P.G.C., A.G.Lewis, P.M. Chapman, A.A.Crowder, W.K. Flether, B. Imber, S.N. Luoma, P.M. Stokes, M. Winfrey. 1988. **Biologically Available Metals in sediments**. National Research Council of Canada, Publ. No NRCC 27694, Ottawa.
- Carey, B.M. 2002. **Effects of land application of manure on groundwater at two dairies over the Sumas-Blaine surficial aquifer**. Washington Department of Ecology, Publication No. 02-03-007. p. 148
- Carter J.N., O.L. Bennett, R.W. Pearson. 1967. **Recovery of fertilizer nitrogen under field condition using nitrogen-15**. SSSA Proc., 31:50
- Champidi P., G.Stamatis, K.Parpodis and D.Kyriazis. 2011. **Estimation of Hydrological Balance of "Rafina's Megalo Rema" basin (Eastern Attica) and diachronic change of the surface water quality characteristics**, Proceedings of the 9<sup>th</sup> International Hydrogeological Congress, Kalavryta, Greece, pp 365-372
- Champidi P., G.Stamatis and E.Zagana. 2011. **Groundwater quality assessment and geogenic and anthropogenic effect estimation in Erasinos Basin (E. Attica)**, European Water Vol. 33, pp:11-27
- Charizopoulos E. and Papadopoulou-Mourkidou E. 1999. **Occurrence of pesticides in rain of the Axios river basin , Greece**. Environ. Sci. Technol. 33:2363-2368
- Chartzoulakis K.S., N.V. Paranychianakis, A.N. Angelakis. 2001. **Water resources management in the Island of Crete, Greece, with emphasis on the agriculture use**, Elsevier Science, Water Policy 3: 193-205
- Chatzinikolaou Y. And Lazaridou M. 2007. **Identification of the self-purification stretches of the Pinios River, Central Greece**, Mediterranean Marine Science Volume 8/2, 2007, pp.19-32
- Chrysikou L., P. Gemenetzi, A. Kouras, E. Manoli, E. Terzi and C. Samara. 2008. **Distribution of persistent organic pollutants, polycyclic aromatic hydrocarbons and trace elements in soil and vegetation following a large scale landfill fire in northern Greece**, Volume 34, Issue 2, :210-225
- CIE, 1986. **Colorimetry**. Publication No 15.2, 2<sup>nd</sup> Ed. CIE Central Bureau, Vienna, A-1033, Austria
- Clayton P.M. and Tiller K.G. 1979. **A chemical method for determination of the heavy metal content of soils in Environmental Studies**, Div. Soils Tech. CSIRO Australia, Melbourne, Paper No 41: pp.1-17
- Costa, M. 2000. **Chromium and nickel**. In: Zalups RK, Koropatnick J. (eds) *Molecular biology and toxicology of metals*. Taylor and Francis, Great Britain, pp 113-114
- Γαμβρουλά Δ. 2009. **Υδρογεωλογική και γεωχημική έρευνα στη λιγνιτοφόρο τριτογενή λεκάνη Μαλακάσας - Ωρωπού. διερεύνηση προέλευσης των τοξικών μετάλλων στα**

- υπόγεια νερά και στα εδάφη της περιοχής*. Μεταπτυχιακή Εργασία, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- Γασπαράτος Δ. 2007. *Γένεση συγκριμάτων και θρόμβων Fe-Mn σε εδάφη Alfisols της Θεσσαλίας*, Διδακτορική διατριβή, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών σελ.275
- Γερούκης, Φ., Α. Φώσκολος, Μ. Δημητρούλα, Ε. Βασιλειάδης. 1998. *Περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την επίδραση των ιχνοστοιχείων που περιέχουν οι ιπτάμενες τέφρες που προέρχονται από την καύση του λιγνίτη στους ηλεκτρικούς σταθμούς της ευρύτερης περιοχής Πτολεμαΐδας - Πρόδρομα αποτελέσματα*. Τεχνικά Χρονικά Τόμος Β, τεύχος 6:128-136.
- Γεωργαλάς Λ. 1995. *Καρστικό Σύστημα Υμηττού*. Διδακτορική διατριβή, Ε.Μ.Π., Αθήνα σελ. 92
- Γεωργαλάς Λ. και Ι.Κουμαντάκης. 1995. *Θερμοκρασιακό καθεστώς υπόγειων νερών καρστικού συστήματος Υμηττού*. 3<sup>ο</sup> Υδρογεωλογικό Συνέδριο, Ηράκλειο Κρήτης, σελ. 92-104
- Γεωργαλάς Λ. και Ι.Κουμαντάκης. 1997. *Βασικά Ποιοτικά Χαρακτηριστικά υπόγειων νερών καρστικού συστήματος Υμηττού*. 4<sup>ο</sup> Υδρογεωλογικό Συνέδριο, Θεσσαλονίκη. σελ.65-83
- Γεωργακάκης Δ., Φ. Τζίχα, Μ. Ζόγκας, Χ. Νικολάρου και Α. Τσαβδάρης 1994. *Διαχείριση υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείων πριν απ' τη βιολογική τους επεξεργασία*, Ερευνητικό πρόγραμμα, Γεωργικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- Γιαννάτος, Γ. 1999. *Υδροδυναμική ανάλυση υδροφορίας ανθρακικών σχηματισμών με επικράτηση ασυνεχειών. Η λεκάνη του Άνω Βουραϊκού*. Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Αθηνών. Σελ. 141
- Γαννυλόπουλος, Π. 2008. *Αναγνωριστική Υδρογεωλογική-Υδροχημική έρευνα ποιοτικής επιβάρυνσης των υπόγειων νερών της ευρύτερης περιοχής της λεκάνης Ασωπού Ν. Βοιωτίας*, Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, Αθήνα, 74 σελ.
- Γαννυλόπουλος, Π. και Ε. Γκιντώνη. 2008. *Ποιότητα των υπόγειων νερών της περιοχής Κορωπίου Αττικής με έμφαση στην κατανομή και προέλευση του χρωμίου*. Πρακτικά 8<sup>ου</sup> Διεθνούς Υδρογεωλογικού Συνεδρίου, Αθήνα, σελ.465-476.
- Γιάσογλου, Ν. 1977. *Μαθήματα Γεωργικής Χημείας- Εδαφολογίας, Τόμος Ι*, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, 268 σελ.
- Γιάσογλου, Ν. 1977. *Μαθήματα Γεωργικής Χημείας- Εδαφολογίας, Τόμος ΙΙ*, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, 371 σελ.
- Γιάσογλου, Ν. 1992. *Μαθήματα Γεωργικής Χημείας (ΕΛΑΦΟΛΟΓΙΑ Ι)*, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα σελ. 411
- Γιάσογλου, Ν. 1995. *Μαθήματα Εφηρμοσμένης Εδαφολογίας*, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα σελ.234
- Γιάσογλου, Ν. 2002. *Φυσικοί πόροι και ερημοποίηση*. Πεμπτουσία, τεύχος 8:44-53
- Γιάσογλου, Ν. και Κ. Κοσμάς. 1992. *Η ερημοποίηση*. Εκδόσεις Ιδρύματος Γουλανδρή
- Γκάρτζος, Ε. 2004. *Φυσικοχημικές συνθήκες κατά τη σπηλαιοποίηση*, Σημειώσεις σεμιναρίου επιστημονικής αι αθλητικής σπηλαιολογίας της Ελληνικής Σπηλαιολογικής Εταιρίας (ΕΣΕ), Αθήνα
- Δάβη, Ε. 1990. *Μαθήματα Γενικής Γεωλογίας*, Σ. Αθανασόπουλος-Σ.Παπαδήμας & ΣΙΑ Ε.Ε., Αθήνα. σελ. 290
- Δαλέζιος Ν. και Α. Λουκάς. 2003. *Υδροκλιματικά χαρακτηριστικά ξηρασίας στην Ελλάδα*. Εθνικό Συνέδριο με θέμα «Το νερό στον 21<sup>ο</sup> αιώνα», ΓΕΩΤ. Ε.Ε. 21-23
- Darby D.A., D.D. Adams and W.T. Nivens. 1986. *Early sediment changes and element mobilization in a man-made estuary marsh* In (P.G. Sly eds), Sediment and Water Interactions, Springer, Berlin, pp. 343-351
- Das, P.,S. Samantaray and G.R. Rout. 1997. *Studies on cadmium toxicity in plants: a review*. Environmental Pollution 98: 29-36.
- Davies, B.E. 1997. *Heavy metal contaminated in soils in an old industrial area of Wales, Great Britain: Source Identification through statistical data. Interpretation*. Kluwer Academic Publishers, printed in Netherlands. Water, air and Soil Pollution 94:85-98.
- Davis, S.N. 1964. *Silica in streams and ground water*. Am.J.Sci. 262:870-891

- Δημητρακόπουλος Δ., Γ. Λουλούδης, Ι. Κουμαντάκης, 1993. *Επιπτώσεις της ξηρασίας στους υδροφορείς των πλειο-τεταρτογενών σχηματισμών της λεκάνης Πτολεμαΐδας*, Πρακτικά 2<sup>ου</sup> Υδρογεωλογικού Συνεδρίου, Τόμος Α, Πάτρα. σελ.19-31
- Δημογιάννης Δ., Σ. Βάλμης, Ν. Δαναλάτος, Γ. Αργυρόπουλος, 2007. *Σχέσεις εδαφικών χαρακτηριστικών και σταθερότητας συσσωματωμάτων σε καλλιεργούμενα εδάφη*, Γενικά Επιστημονικά Θέματα, Σειρά Ι, Τόμος 18, Τεύχος 1/2007: 4-10, Θεσσαλονίκη.
- Doner H.E. and P.R. Grossl. 2002. *Carbonates and evaporates*. In J.B. Dixon and D.G. Schulze (eds) Soil Mineralogy with Environmental Applications, SSSA Book Ser.7, SSSA, Madison, WI. Pp.199-228
- Duchaufour, Ph., 1970. *Précis de Pédologie*. Masson, Paris, pp:481.
- Dudal, R. 1965. *Dark clay soils of tropical and subtropical regions*. FAO Agr. Development. Paper No 83, FAO, Rome p. 43-61
- DVWK SCHRIFTEN 110. 1996. *Hydrogeochemische stoffsysteme*, Schriftenreihe des Deutschen Verbandes für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V. Heft 116
- DVWK SCHRIFTEN 110. 1998. *Hydrogeochemische stoffsysteme*, Schriftenreihe des Deutschen Verbandes für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V. Heft 117
- Eckel H., U. Roth, H. Döhler, F. Nicholson and R. Unwin. 2005. *Assessment and reduction of heavy metal input into agro-systems*. Final rep. EU-Concerted action AROMIS. KTBL-Schrift, Darmstadt.
- Edwards, C.A., 1970. *Persistent Pesticides in the Environment*. Chem. Rubber Comp. Press. Cleveland, Ohio, 78p.
- Emmerich W. E. , L. J. Lund, A. L. Page and A. C. Chang. 1981. *Solid Phase Forms of Heavy Metals in Sewage Sludge-Treated Soils*. Journal of Environmental Quality Vol. 11 No. 2, p. 178-181
- Engwall R. 1971. *Preliminary report on the transport of presumptive pollutant to the Baltic sea from Sweden. River discharges of total nitrogen, total phosphorus and organic matter. 1. Municipal and industrial discharges in the coastal land area* In: Soviet-Swed. Symp. on the poll. of the Baltic, Stockholm,
- Eswaran, H., R. Lal and P.F. Reich. 2001. *Land degradation: an overview*. In: Bridges, E.M., I.D. Hannam, L.R. Oldeman, F.W.T. Pening de Vries, S.J. Scherr, and S. Sompatpanit (eds.). Responses to Land Degradation. Proc. 2nd. International Conference on Land Degradation and Desertification, Khon Kaen, Thailand. Oxford Press, New Delhi, India.
- E.U. Council, 1998, *Council Directive 98/83 about water quality intended for human consumption*, in Official Paper of the European Communities: EC, Brussels, v. L330, p. 32-54.
- Evans R.G. 1964. *The ionic bond and same ionic structures* In Crystal Chemistry 2<sup>nd</sup> ed. Cambridge University Press, Cambridge, UK, p. 31-40
- Ζαφειρίου Θ., Κ. Κοσμάς, Ν. Μουστάκας, Α. Τσαγκαλίδης, Γ. Μιγκίρος, 1998. *Γένεση Εδαφοτομής στα Μεσόγεια Αττικής*, Πρακτικά 7<sup>ου</sup> Πανελληνίου Εδαφολογικού Συνεδρίου, Θεσσαλονίκη.
- Ζαχαριάδης Δ. 2006: *Υδρογεωλογικές συνθήκες στην λεκάνη Ωρωπού και η επιβάρυνση των υπόγειων νερών από την θαλάσσια διείσδυση*. Μεταπτυχιακή εργασία. Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- Fairbridge R.W. 1972. *The encyclopedia of geochemistry and environmental sciences*. Van Nostrand reinold company, New York.
- FAO, 1986. *Yield response to Water*, Irrigation and Drainage paper No 33, in [www.fao.org](http://www.fao.org)
- FAO 2012. *Management Of Irrigation-Induced Salt-Affected Soils*. 04-Salinity brochure\_e in [ftp://ftp.fao.org/agl/iptrid/salinity\\_brochure\\_en.pdf](ftp://ftp.fao.org/agl/iptrid/salinity_brochure_en.pdf)
- Farkas A. C. erratico, L. Vigano 2007. *Assessment of the environmental significance in surficial sediments of the river Po*. Chemosphere 68, p.761-768.
- Fellows R.J., C.C. Ainsworth, C.J. Driver and D.A. Cataldo. 1998. *Dynamics and transformations of radionuclides in soils and ecosystem health* In P.M. Huang et al. (eds) Soil chemistry and ecosystem health. SSSA Spec. Publ. 52. SSSA, Madison, W.I., p.85-132.

- Filintas T.Ag., I.P. Dioudis, T.D. Pateras, N.J. Hatzopoulos, G.L. Toullos 2006. *Drip irrigation effects in movement, concentration and allocation of nitrates and mapping of nitrates with GIS in an experimental agricultural field*. Proceedings of the HAICTA2006, International Conference on: Information Systems in Sustainable Agriculture, Agroenvironment and Food Technology, 20-30 September, Volos, Greece, pp. 253-262.
- Filippelli G.M. 2002. *The Global Phosphorus Cycle*. Reviews in Mineralogy and geochemistry 48: 391 – 425
- Filippidis A., A. Georgakopoulos, A. Kassoli-Fournaraki, P. Misaelides, P. Yiakkoupis and J. Broussoulis. 1996. *Trace element contents in cornposited samples of three lignite seams from the central part of the Drama lignite deposit, Macedonia, Greece*. International Journal of Coal Geology 29: 219-234 Elsevier
- Foscolos, A.E., Goodarzi, F., Koukouzas, C.N., Hatziyannis, G., 1989. *Reconnaissance study of mineral matter and trace elements in Greek lignites*. Chem. Geol. 76, 107-130.
- Foscolos, A.E., Goodarzi, F., Koukouzas, C.N., Hatziyannis, G., 1998. *Assessment of environment impact of coal exploration and exploitation in the Drama basin, Northeastern Greek – Macedonia*. Energy Sources 20, 795-820.
- Freeze, R.A., J.Cherry, 1979. *Groundwater*, Prentice-Hall Inc. Englewood Cliffs, p.604
- Friedrich H. 1965. *Meeresbiologie*. Gebruder Borntraeger. Berlin.
- Geelhoed J.S., C.L. Meeussen, M.J. Roe, S. Hiller, R.P. Thomas. J.G. Farmer and E. Paterson. 2003. *Chromium remediation or release? Effect of Iron (II) sulphate addition on chromium (VI) leaching from columns of chromite ore processing residue*. Environ. Sci. Technol. 32:3206-3213
- Gleick, P. H. 1989. *Climate change, hydrology, and water resources*, Reviews of Geophysics, Vol. 27(3), 329–344
- Gobin A., Govers G., Jones R., Kirkby M., Kosmas C. 2002. *Assessment and Reporting on Soil Erosion. Background and workshop report*. European Environment Agency. Copenhagen, p.131
- Goldberg S.P. and K.A. Smith. 1984. *Soil manganese: E values, distribution of manganese-54 among soil fractions and effects of drying*. Soil Sci. Soc. Am. J. 48:559-564
- Greager M. 1999. *Metal availability and bioconcentration in plants* In: Prasad M.N. Hagemeyer J. (eds). Heavy metal stress in plants. Springer-Verlag. Berlin Heidelberg. pp.1-27.
- Hargreaves G.H. and Z.A. Samani. 1982. *Estimating potential evapotranspiration*. Tech. Note, J. Irrig. and Drain. Engrg., ASCE, 108(3):225-230.
- Hargreaves, G.L., G.H. Hargreaves, and J.P. Riley. 1985. *Agricultural benefits for Senegal River Basin*. J. Irrigation and Drainage Engr., ASCE 111:113-124.
- Hall, M.D., M.J. Shaffer, R.M. Waskom, J.A. Delgado. 2001. *Regional nitrate leaching variability: what makes a difference in north-eastern Colorado*. Journal of the American Water Resources Association 37(1), 139-408.
- Hatzaki, M., H.A. Flocas, P. Maheras, D.N. Asimakopoulos and C. Giannakopoulos. 2006. *Study of future climatic variations of a teleconnection pattern affecting eastern Mediterranean..* Global Nest, Vol.8, No3, pp 195-203
- Heath, R.C, 1964. *Seasonal temperature fluctuations in surficial sand near Albany*, New York, U.S. Geological Survey Prof. Paper 475-D, pp.204-208
- Henderson T.L., M.F. Baumgardner, D.P. Franzmeier, D.E. Stott and D.C. Coster.. 1992. *High dimensional reflectance analysis of soil organic matter*. Soil Sci. Soc. Am. J. 56:865-872
- Hodgson J.F. 1963. *Chemistry of Micronutrients in Soils*. Adv. Agron Vol.15, pp:119-159
- Hoell, K. 1979. *Wasser-Untersuchung-Beurteilung-Aufbereitung-Chemie-Bacteriologie - Virologie-Biologie-* 515 S., Berlin New York (Walter de Gruyter).
- Horowitz, A.J. 1991. *Primer on sediment-trace element chemistry*, Lewis Publishers, 2nd edition, Michigan.
- Θαλασσινός Λ., Θ. Σταματόπουλος, Χ. Χαρίσης, 1996. *Επιχειρησιακή Στατιστική, Θεωρία, Ασκήσεις, Εφαρμογές*. Εκδόσεις Σταμούλης, Αθήνα-Πειραιάς. σελ. 432

- IPCC, 2001: *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Houghton, J.T., Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell, and C.A. Johnson (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 881pp.
- IPCC, 2007: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning (eds.)]. 996pp.
- Janssen R.P. , P.J. Pretorius, W.J.G.M. Peijnenburg and M.A.G.T. van den Hoop. 1996. *Determination on filed-based partition coefficients for heavy metals in Dutch soils and relationship of these coefficients with soil characteristics*, Report, National Institute of Public Health and the Environment.
- Jassby A.D. and Cloern J.E. 2000.. *Organic matter sources and rehabilitation of the Sacramento - San Joaquin Delta (California, USA)*. Aquatic conservation: Marine and Freshwater Ecosystems, Vol.10: 323-352
- Jewitt T.N., R.D. Law and K.J. Virgo. 1959. *Vertisol soils of the tropics: Their management and use*. Outlook of agriculture 10:33-40
- Jimoh O. D., Ayodeji M. A., B. Mohammed. 2003 *Effects of agrochemicals on surface waters and groundwaters in the Tunga-Kawo Nigeria irrigation scheme* Hydrological Sciences–Journal–des Sciences Hydrologiques, p.p.1013-1023
- Kabata-Pendias, A. 1993. *Behavioural properties of trace metals in soils*. Applied Geochem. Supplementary Issue No. 2, Environmental Geochemistry, pp.3-9.
- Kabata-Pendias, A. and B. Mukherjee.2007. *Trace Elements from Soil to Human*, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg. p.550
- Kabata-Pendias, A. and H. Pendias. 1992. *Trace Elements in Soil and Plant*, 2<sup>nd</sup> ed. CRC Press, Boca Raton, Ann Arbor, London. p.365
- Kabata-Pendias, A. and H. Pendias. 1999. *Biogeochemistry of trace elements*, 2<sup>nd</sup> ed. Wyd Nauk PWN, Warszawa.
- Kabata-Pendias, A. and H. Pendias. 2001. *Trace Elements in Soil and Plant*, 3<sup>d</sup> ed. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Kabata-Pendias, A. and W. Sadurski. 2004. *Trace Elements and compounds in Soil*, In: Merian E, Anke M, Inhat M, Stoeppler M (eds) Elements and their compounds in the environment, wiley-VCH, Weinheim, 2<sup>nd</sup> ed., pp79-99.
- Kabata C. and J. Wilk. 2004. *Sequential extraction of iron and zinc in soils irrigated with municipal waste-water*. Ann Nat Inst. Hygiene Suppl 55:133-141
- Κακαβάς, Ν., 1995: *Υδρολογικό ισοζύγιο σε καρστικές περιοχές της Κεντρικής Ελλάδος*. Annales geologiques des pays Helleniques τ. XXXVI Αθήνα.
- Kalaitzidis, S., Georgakopoulos, A., Cristanis, K., Iordanidis, A. 2006. *Early coalification features as approached by soil state 13C CO/MAS NMR spectroscopy*. Geochim. Cosmochim. Acta, 70, p. 947-959.
- Καλλέργης, Γ.Α. ,2000. *Εφηρμοσμένη Υδρογεωλογία*, τόμος Α (2<sup>η</sup> έκδοση), Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, Αθήνα. σελ.331
- Καλλέργης, Γ.Α. ,2000. *Εφηρμοσμένη Υδρογεωλογία*, τόμος Β (2<sup>η</sup> έκδοση), Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, Αθήνα. σελ.345
- Καλλέργης, Γ., Θ. Χριστοδούλου, 1972. *Σχέσεις ενεργού κατεισδύσεως και βροχοπτώσεως εις τις αλλουβιακές αποθέσεις περιοχής Καλαμπάκας*. Δελτίο Ελλ. Γεωλ. Εταιρ. ΙΧ/1, σελ. 119-128.
- Καλλιάνου Χ., 2007. *Ρύπανση και αποκατάσταση εδαφών*, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα
- Καμπεζίδης, Δ. 2005. *Το κλίμα της Αθήνας*. Ε&Τ στο περιβάλλον: 23-28σελ.
- Κάντας, Κ., Λ. Τηνιακός, 1988. *Ενεργός κατεισδυση και γενική υδρογεωλογική συμπεριφορά των κροκαλοπαγών Μεσσηνίας στο δυτικό τμήμα των βοωνών της Κυπαρισσίας*. Δελτίο Ελλ. Γεωλ. Εταιρ. Χ/3, 57-77.
- Kanwar J.Pr. 1961. *Revue de la potasse*. Science 24 , Sept. 1961



- Καρακατσούλης, Π. 1981. *Μαθήματα Γενικής & Εφαρμοσμένης Υδραυλικής*, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα. σελ. 178
- Καρανδεινός, Μ. 1995. *Στοιχεία Οικολογίας*. Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, σελ.159.
- Καραπάνος Η. 2009. *Υδρογεωλογικές- Υδροχημικές παράμετροι της αποξηραμένης λίμνης Μουριάς (Ν. Ηλείας) ως παράγοντες για τον καθορισμό κριτηρίων εφαρμογής αποκατάστασης και αειφορικής διαχείρισης υγροτόπων*. Διδακτορική Διατριβή. Τμήμα Γεωλογίας, Πανεπιστήμιο Πατρών, σελ.300.
- Karczewska A. 2004. *Function of iron and manganese oxides in sorption of heavy metals in polluted soils as related to the sequential extraction*. Ann Nat Inst. Hygiene Suppl 55:133-141
- Karr J. R. and D. R. Dudley. 1981. *Ecological Perspective on Water Quality Goals*, Environmental Management, Vol. 5, No1, pp 55-68
- Kastanaki, K., Vamvuka, D. 2006. *A comparative reactivity and kinetic study on the combustion of coalbiomass char blends*, Fuel, 85, p. 1186-1193.
- Κατσάνος, Α. 1970. *Συμπεριφορά των πυρκαγιών τω δασών*. Αυτοτελής έκδοση του Υπουργείου Γεωργίας-Γενική Δ/ση Δασών, Υπηρεσία δασικών εφαρμογών, Αθήνα, 131σελ.
- Κατσιαβριάς Ν., Παπαζέτη Ε., Ζόραπας Ν., Στεφούλη Μ. 2007. *Γεωλογικός χάρτης Μεσογείων Αττικής (Φύλλο Πλάκα-Κορωπή) 1:50.000*. Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, Αθήνα.
- Κατσικάτσος, Γ. 1992. *Γεωλογία της Ελλάδας*, Αθήνα, 451 σελ.
- Kennedy V. H. , Sanchez A. L., Oughton D. H. and Rowland A. P.. 2007. *Use of Single and Sequential Chemical Extractants to Assess adionuclide and Heavy Metal Availability From Soils for Root Uptake*. Analyst. Vol.122, pp. 89-100
- Κερκίδης, Π. 1999. *Διασπορά διαλυτών ουσιών* Σημειώσεις στο μάθημα ΦΠ18 του Π.Μ.Σ. «Διαχείριση Περιβάλλοντος» του τμήματος Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργ. Μηχανικής του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών, Γ.Π.Α. Αθήνα.
- Κερκίδης, Π. 2003. *Ποιότητα νερού από υδρολογική άποψη*. Σημειώσεις στο μάθημα ΦΠ18 του Π.Μ.Σ. «Διαχείριση Περιβάλλοντος» του τμήματος Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργ. Μηχανικής του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών, Γ.Π.Α. Αθήνα.
- Kimbrough, R.A., and Litke, D.W., 1996. *Pesticides in streams draining agricultural and urban areas in Colorado*: Environmental Science and Technology, v. 30, no. 3, p. 908-916.
- Κορνάρος, Γ. 1999. *Κλιματικά στοιχεία των σταθμών της ΕΜΥ*, Τεύχος Β', ΕΜΥ, Δ/ση Κλιματολογίας, Τμήμα Ελέγχου-Επεξεργασίας, Αθήνα.
- Kubota, J. 1977. *Molybdenum status of United States soils and plants*, pp. 555. In:Chappel, W.R. and K.K. Peterson (Eds) Molybdenum in the Environment, Marcel Dekker, New York.
- Κουμτζής Θ., Κ. Φυτιάνος, Κ. Σαμαρά-Κωνσταντίνου. 1998. *Χημεία Περιβάλλοντος*, Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη. σελ. 380
- Κουμαντάκης Ι., Ξ. Σταυρόπουλος, Ε. Γρηγοράκου. 1997. *Ποιοτικό καθεστώς υπόγειων νερών λεκανοπεδίου Αθηνών*. 5<sup>ο</sup> Συνέδριο Περιβαλλοντικής Επιστήμης και Τεχνολογίας, Μόλυβος Λέσβου. Τόμος Β, σελ.374-384
- Κούνης, Γ. 1979. *Επί των Υδρογεωλογικών συνθηκών και των δυνατοτήτων υδρεύσεως του νέου αερολιμένα Αθηνών στα Σπάτα*, Γ 1666, Υ 867, Αθήνα.
- Κούνης, Γ. 1998. *Μελέτη για την Υδρογεωλογία της Αττικής*, Ι.Γ.Μ.Ε., Δ/ση Υδρογεωλογίας Θερμομεταλλικών Υδάτων, Αθήνα.
- Kosmas C.S and N.G. Danalatos. 1994. *Climate change, desertification and the Mediterranean region*. NATO ASI Series, Soil Responses to Climate Change, M.D.A. Rounsevell and P.J. Loveland (eds., Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, Vol. I 23:25-38
- Koutsias N. and M. Karteris, 2003. *Classification analyses of vegetation for delineating forest fire fuel complexes in a Mediterranean test site using satellite remote sensing and GIS*. Int. J. Remote Sens., 24 (15), pp. 3093-3104.

- Κουτσομήτρος, Σ. 1996. *Μελέτη του υπόγειου υδροφόρου της περιοχής των Ιρίων Αργολίδας με έμφαση στις υδροχημικές διεργασίες και την εισβολή της θάλασσας*, Πτυχιακή Μελέτη του τμήματος Εγγείων Βελτιώσεων & Γεωργικής Μηχανικής, Γ.Π.Α.
- Kubota, J. 1968. *Distribution of cobalt deficiency in grazing animals in relation to soils and forage plants of the United States*, Soil. Sci. 106:122.
- Kunze G.W., H. Oakes and M.E. Bloodworth. 1963. *Grumusols of the Coast Prairie of Texas*. Soil Sci. Soc. Amer. Orc. 42: 412-421
- Lag, J. and E. Steinnes. 1976. *Regional distribution of halogens in Norwegian forest soils*, Geoderma, 16:317.
- Lagerwerf, J.V. 1971. *Uptake of Cadmium, Lead and Zinc by Radish from soil and air*. Soil Sc. 3, 129-133.
- Lambrakis, N. 1991. *Elaboration of the hydrochemical data by PC*, Mineral Wealth Vol.74:53-60 (In Greek)
- Λαμπράκης, Ν., 1989. *Πειραματικά αποτελέσματα για τη διερεύνηση σχέσης ανάμεσα στην εξατμισοδιαπνοή και την κατείδουση*. Μετ. Μεταλ. Χρον., 71, 63-69.
- Larson, S.J., Capel, P.D., Goolsby, D.A., Zaugg, S.D. & Sandstrom, M.W. 1997. *Relations between pesticide use and riverine flux in the Mississippi River basin*. Chemosphere 31: 3305-3321
- Λέκκας, Σ.Π. 1992. *Υδρογεωλογικές παρατηρήσεις στην περιοχή των Μεσογείων (Αττική, Ελλάδα)*. Δελτίο Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας, Πρακτικά 6<sup>ου</sup> Συνεδρίου, Αθήνα, Τομ. XXVIII/3, σελ.309-322.
- Lekkas Th., Kolokythas G., Nikolaou A., Kostopoulou M., Kotrikla A., Gatidou G., Thomaidis N.S., Goulinopoulos S., Makri Chr., Babos D., Vagi M., Stasinakis A., Petsas A. and Lekkas D.F. 2004. *Evaluation of the pollution of the surface waters of Greece from the priority compounds of List II, 76/464/EEC Directive, and other toxic compounds*. Elsevier, Environmental International 30: 995-1007.
- Lepsius, R. 1893. *Geologie von Attica. Ein Beitrag zur Lehre vom Metamorphismus der Gesteine*. 1956, Berlin 1893 & μετάφραση Γ.Βουγιούκα (1906). Βιβλιοθήκη Μαρασλή, Αθήνα, 592σελ.
- Λιάπη Μ. 2006. *Αξιοποίηση του νερού και της ηλιακής ακτινοβολίας σε καλλιέργεια γλυκού σόργου κι εκτίμηση της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς κατά FAO, (μέθοδος Penman-Monteith)*, Μεταπτυχιακή διατριβή, ΠΜΣ στις Περιβαλλοντικές Επιστήμες, Σχολή Θετικών Επιστημών, Πάτρα.
- Lindsay W.L. 1979. *Chemical equilibria in soils*. John Wiley & Sons, New York, NY.
- Lloyd, J.W. and Heathcote. 1985. *Natural and organic hydrogeology in relation to groundwater*. Clarendon Press-Oxford:p.294
- Maas, E.V. and G.J.Hoffman, 1977. *Corp Salt Tolerance – Qurrent Assessment of Irrigation*, J.Irr.Drain.Div.AM.Soc.Civil Eng. 103 (IR2): 115– 134.
- Μαλεφάκης, Γ. 1998. *Ποιότητα Επιφανειακών & Υπόγειων Νερών Υπ. Γεωργίας*, Αθήνα. σελ. 272
- Μαλεφάκης, Γ. 1998. *Ποιότητα Νερών Εδαφοκαλλιεργειών, Εδαφοπονίας, Εδαφοβελτιώσεις Υπ. Γεωργίας*, Αθήνα. σελ. 256
- Μαλεφάκης, Γ. 1999. *Ποιότητα Νερού, Μεγαλοστοιχεία & Ιχνοστοιχεία στα Νερά, στα Εδάφη, στα Φυτά, στα Ζώα και στον Άνθρωπο* Υπ. Γεωργίας, Αθήνα. σελ. 175
- Manahan, S.E. 1994. *Environmental Chemistry*, Lewis Publishers, Boca Raton, USA. p.249
- Mandel, S-Shiftan. 1981. *Groundwater Resources, Investigation and Development*, Academic Press, N.Y., London, 269p.
- Μαρίνος, Γ. 1955. *Γεωλογική αναγνώρισις της λγνιτοφόρου λεκάνης της Ραφήνας*, Ινστιτούτο Γεωλογίας και Ερευνών του Υπεδάφους, Αθήνα
- Μαρίνος, Π., 1975. *Ενεργός κατείδουσις εντός ασβεστολίθων. Σφάλματα κατά τον υπολογισμό εκ διαφοράς μέσω του υδρολογικού ισοζυγίου. Ισχύς των συνήθως εξισώσεων πραγματικής εξατμισοδιαπνοής εις την Ελλάδα*. Ann. Geol. Pays Hell., v. 27.
- Μαριολάκος Η.Δ., Σ.Π. Λέκκας 1974. *Υδρογεωλογικές Συνθήκες της λεκάνης του Κορωπίου Αττικής*, Annales Géologiques des pays Helléniques. T. XXVI σελ.186-250

- Martinez Cortizas A., E. Garcia-Rodeja Gayoso, J.C. Novoa Munoz, X. Pontevedra, P. Buurman, F. Terribile. 2003. *Distribution of some selected major and trace elements in four Italian soils developed from the deposits of the Gauro and Vico volcanoes*. Geoderma. 117, 215-224.
- Μασούρα, Γ. 2008. *Ρυπαντική Υδροχημεία της λεκάνης του ποταμού Ασωπού Νομού Βοιωτίας*, Μεταπτυχιακή διατριβή, Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, 148 σελ.
- Massoura S.T., M.P. Norini, G. Ecevarria, G. Shaw, E. Leclerc-Cessac and J-L Morel. 2005. *Determination of Nickel-63 availability on organic matter rich soils*. ICOBTE, 8<sup>th</sup> Intern. Conf., Adelaide, pp.468-469
- Μάστορης, Κ., 1968. *Υδρογεωλογική έρευνα εις την ασβεστολιθική περιοχή Νοτίου Γκιόνας*, Ι.Γ.Ε.Υ., 12,3 σελ.259-355, Αθήνα.
- Matthess, G. 1973. *Die Beschaffenheit des Grundwassers*, Gebruder Borntraeger. Be2rlin. Stuttgart, 319p.
- Mayo A. W. and Noike T. 1994. *Effects of glucose loading on growth behavior of Chlorella vulgaris and heretrophic bacteria in mixed culture*. Wat. Res. 28: 1001 – 1008.
- McBride, M.B. 1994. *Environmental Chemistry of Soils*. Oxford University Press, New York, p:312-313, 329.
- McBride M.B., S. Sauvé and W. Hendeshot. 1997. *Heavy metal uptake and chemical changes in the rhizosphere of Thlaspi caerulescens and Thlaspi ochroleucum grown in contaminated soils*. Plant Soil 188: 153-159.
- McDowell, L. R. 1992. *Minerals in Animal and Human Nutrition*. Academic Press, San Diego, California. p.6-12
- McGrath D., Zhang Ch. and Carton O.T. 2004. *Geostatistical analyses and hazard assessment on soil lead in silvermines area, Ireland*. Elsevier. Environmental Pollution 127: 239-248.
- McGrath, S. P. 1995. *Chromium and nickel*, pp. 152-178. In : Alloway, B. J. (Ed) Heavy Metals in Soils, Blackie Academic and Professional, Glasgow.
- Mckenzie R.M. 1989. Manganese oxides and hydroxides In J.B. Dixon and S.B. Weed (eds) Minerals in soil environments. 2<sup>nd</sup> ed. SSSA Book Ser.1. SSSA, Madison, W.I., p.439-465.
- McLean, F., 1982. *Soil pH and lime requirement*. In A.L. Page (ed.) Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and Microbiological Properties. Agronomy, 9: 199-223
- Medina E., Francisco M., Sternberg L. and Anderson W.T. 2005. *Isotopic signatures of organic matter in sediments of the continental shelf facing the Orinoco Delta: Possible contribution of organic carbon from savannas*. Estuarine, Coastal and Shelf Science, Vol.63: 527-536
- Megonigal J.P., Hines M.E and Vischer P.T. 2003. *Anaerobic metabolism: Linkages to trace gases and aerobic processes*. In: Holland HD and Turekian KK (eds) Treatise on geochemistry, Vol. 8 Biogeochemistry, Elsevier/Pergamon, Amsterdam, pp317-442
- Μήτσιος, Ι. 2001. *Εδαφολογία*, Εκδόσεις zymel, 3<sup>η</sup> έκδοση, Αθήνα, 317 σελ.
- Μιγκίρος Γ., Παυλόπουλος Α., Παρχαρίδης Ι., Γατσής Ι, και Ψωμάδης Ε. 2003. *Τηλεπισκόπηση: Εφαρμογή στις γεωεπιστήμες*. Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- Mielke H.W., C.R. Gonzales, E. Powell, A. Shah and P.W. Mielke. 2002. *Natural and anthropogenic processes that concentrate Mn in rural and urban environments of the Lowe Mississippi River Delta*. Environ. Rec. Sec. A 90:157-168
- Mitsios, I. K., E. E. Golia, and C. D. Tsadilas. 2005. *Heavy metal concentrations in soils and irrigation waters in Thessaly region, Central Greece*. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 36, pp.487–501
- Μιμίδης, Θ. 2004. *Ρύπανση κι Έλεγχος Ποιότητας Υδάτινων Πόρων*, Σημειώσεις στο Π.Μ.Σ. «Διαχείριση Περιβάλλοντος» στο μάθημα ΦΠ18, ΓΠΑ Αθήνα.
- Μιμίδης, Θ. 2003. *Σημειώσεις Υδραυλικής Υπογείων Νερών*, Σημειώσεις του 9<sup>ου</sup> εξαμήνου της κατεύθυνσης «Υδάτινοι Πόροι» του τμήματος Α.Φ.Π. & Γ.Μ., ΓΠΑ Αθήνα.
- Mimikou M. A. 2005. *Water resources in Greece: present and future*. Global Nest, Vol.7, No3, pp 313-322

- Mimikou M. A. , E. Baltas, E. Varanou and K. Pantazis. 2000. **Regional impacts of climate change on water resources quantity and quality indicators**. Elsevier Science Journal of Hydrology, Vol. 234, Issues 1-2, pp 95-109
- Mitcell, R.L. 1964. In **"Chemistry of the soil"**, 2nd edn, ed. Bear, F.E. Reinold, New York. p. 320-368
- Monteith, J.L., 1965. **Evaporation and environment**, In: Proceedings of the 19th Symposium of the Society for Experimental Biology. Cambridge University Press, New York, NY pp. 205–233.
- Morse G. K., Lester J. N. and Perry R. 1993. **The economic and environmental impact of phosphorus removal from wastewater in the European Community**. Selper Publications
- Μουντράκης, Δ. 1985. **Γεωλογία της Ελλάδας**, University Studio Press, Θεσσαλονίκη. σελ. 207
- Moustaka – Gouni M. and Nikolaidis G. 1994. **Phytoplankton and nutrients of the River Nestos, Greece**. Fresenius Envir. Bull. 3: 152 - 157.
- Μουστάκας, Ν. 1990. **Σχέσεις μορφολογικών και φυσικοχημικών ιδιοτήτων των εδαφών της τάξεως των Vertisols στις Ελλαδικές συνθήκες**, Διδακτορική διατριβή, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα. σελ.247
- Μουστάκας, Ν. 1997. **Σημειώσεις στο μάθημα Γενική Εδαφολογία του 4<sup>ου</sup> εξαμήνου**, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα.
- Μπέλλος, Δ. 2004. **Συγκέντρωση θρεπτικών στοιχείων – βαρέων μετάλλων και ραδιοκαϊσίου στο νερό – ίζημα και υδρόβια φυτά του ποταμού Πηνειού**. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης Τμήμα Βιολογίας, Τομέας Βοτανικής 187 σελ.
- Μπορνόβας, Ι. 2010. **Παλιοντολογικά ευρήματα Πικερμίου** in <http://www.pikermiayrio.gr/paleontologia.htm>
- Mposkos E., A. Krohe, A. Diamantopoulos, I Baziotis. 2007. **Late-and post-miocene geodynamic evolution of the Mesogea basin (East Attica, Greece): constraints from sediment petrography and structures**. Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας, Πρακτικά 11<sup>ου</sup> Διεθνούς Συνεδρίου, Αθήνα τομ. XXXX: 399-411
- Μπρούσαλης Κ. 1993. **Πατριδογνωσία**, τόμος 2: Αιγαίου Νησιά-Αττική, Πήγασος Εκδοτική & Εκτυπωτική Α.Ε., Αθήνα
- Nasseem M.G. and Y.H. Abdalla. 2003. **Cobalt status in the North Western Coast soils of Egypt in relation to cobalt content of barley for ruminants**. 6<sup>th</sup> Intern. Symp. Environ. Biogeochem. Edynburgh.
- National Research Council (NRC), 2002: **Abrupt Climate Change, Inevitable Surprises**. National Academy Press, Washington, DC. National Academy Press, Washington, DC pp.230
- Ναυροζίδης, Σ. 2008. **Αξιολόγηση των επιπτώσεων της επιφανειακής διάθεσης επεξεργασμένου κασιόγραρου σε καλλιέργειες καλαμποκιού**, Διπλωματική Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά, σελ.108
- Nelson L.A., G.W. Kunze and G.L. Godfrey. 1960. **Chemical and mineralogical properties of San Saba clay, a Grumosol**. Soil Sci. 89:122-141
- Nelson D.W. and L.E.. Sommers. 1982. **Total carbon, organic carbon and organic matter**. Page A.L.,(Ed). Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and Biological Properties. 2nd edition. Agronomy No 9. American Society of Agronomy, Madison. 539-579.
- Netzer, A.and S. Beszedits. 1979. In: **Copper in the Environment**. Part I: Ecological Cycling, ed. Nriagu, J.O. p.123-169
- Nieboer E. and D.H.S. Richardson. 1980. **The replacement of the nondescript term "heavy metals" by a biologically and chemically significant classification of metal ions**, Environ. Pollut. Ser. B, 1:3-10
- Nriagu, J.D., 1988. **Cadmium in the aquatic environment**. Environmental Pollution 54: 75.
- Okonwo S. and M. Mothiba 2005. **Physico-chemical characteristics and pollution levels of heavy metals in the river Thohoyandous, South Africa**. Journal of Hydrology 308. p:122-127

- Oliver, M.A., 1984. *Soil Variation in the Wyre Forest. Its Elucidation and Measurement*. PhD Thesis, University of Birmingham.
- Olsen, S.R. and L.E. Sommers. *Phosphorus*. In page, A.L., R.H. Miller and D.R. Keeney (eds), 1982, Methods of Soil Analysis. Part 2. Agronomy No 9, USA, p. 403
- Ou L-T, W. Jing and J.E. Thomas. 1995. *Biological and chemical degradation of ionic ethylated compounds in soil*. Environ. Toxicol. Chem. 14:545-551
- Pacyna J.M. 1990. *Estimation of the atmospheric emission of trace elements from anthropogenic sources in Europe*. Atmos Environ. 18:41-50
- Pacyna J.M. 1995. *The origin of air pollutants: lessons learned and future research*. Sci. Total Environ. 160/161: 39-53
- Παναγιωτόπουλος, Κ. 2008. *Εδαφολογία*. Εκδόσεις Γαρταγάνη, Θεσσαλονίκη.
- Παναγόπουλος, Χ. 1993 *Ασθένειες καρποφόρων δέντρων και αμπέλου*, Εκδόσεις Σταμούλη, Αθήνα, 445σελ.
- Παπαδέας, Γ. 1991. *Νεότερα πορίσματα στη γεωλογική- τεκτονική εξέλιξη των μεταμορφωμένων πετρωμάτων της Αττικής και στη βαρίσκια μεταλλοφορία*, Πρακτ. Ακαδ. Αθηνών, τομ. 66, Αθήνα.
- Παπαδέας, Γ. 2002. *Γεωλογικές έρευνες στην Αττική*, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, σελ.158.
- Παπαδοπούλου-Μουρκίδου Ε. 2002. *Τελική έκθεση αποτελεσμάτων «Πρόγραμμα ελέγχου ποιότητας επιφανειακών υδάτων στη Μακεδονία-Θράκη»*. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο, Θεσσαλονίκη.
- Παπαλουκοπούλου Π, Οιχαλιώτης Κ. Και Ασημακόπουλος Ι. 2002. *Επιπτώσεις από την εφαρμογή υγρών αποβλήτων ελαιολιτριβείων σε διαφορετικά εδάφη*. Πρακτικά 9<sup>ου</sup> Πανελληνίου Εδαφολογικού Συνεδρίου, Αθήνα, σελ:179-190
- Papafilippaki A.K., M.E. Kotti and G.G. Stavroulaki. 2008. *Seasonal variations in dissolved heavy metals in the Keritis river, Chania, Greece*. Global Nest, Vol. 10, No 3, pp 320-325
- Παπαμιχαήλ Δ. και Δ. Ταμπουρατζής 1993. *Λογισμός Πιθανοτήτων*, Gutenberg, Αθήνα σελ. 193
- Παπανικολάου, Δ. 1984, *Κεφάλαια Γεωλογίας Ελλάδας*, Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα.
- Παπανικολάου Κ. και Θ. Κώτης. 2011. *Λιγνίτες στην Ελλάδα: ιδιότητες, χρήσεις και προοπτικές* in [http://library.tee.gr/digital/m2069/m2069\\_papanikolaou.pdf](http://library.tee.gr/digital/m2069/m2069_papanikolaou.pdf)
- Παπασουλούνια, Ρ. 2005. *Με ερημοποίηση απειλείται η αττική γη*. Άρθρο της Κυριακάτικης Ελευθεροτυπίας, 16 Οκτωβρίου 2005: 58-59.
- Παππά, Γ.2001. *Υγειονομική Σημασία των Χημικών Παραμέτρων στο Πόσιμο Νερό*, Υπ. Υγείας Πρόνοιας in [www.waterinfo.gr/eedyp/Paros\\_papers/pappa\\_g.pdf](http://www.waterinfo.gr/eedyp/Paros_papers/pappa_g.pdf)
- Pearson T.W. and J. Tinsley. 1975. *Organic components*. In J.K. Gieseking (ed) "Soil components". Springer-Verlag N.Y. 263-304.
- Peganova S. and K. Edlet. 2004. *Zinc*. In: Merian E, Anke M, Inhat M, Stoepler M (eds) *Elements and their compounds in the environment*. 2<sup>nd</sup> ed. Wiley-VCH, Weinheim, pp.1203-1239
- Pekař M. 2009. *Fluoride Anion Binding by Natural Lignite (South Moravian Deposit of Vienna Basin)*. Springer , Water Air Soil Pollut. 197:303–312
- Penman, H.L., 1948. *Natural evaporation from open water, bare soil, and grass*. Proceedings of the Royal Society, London A 193, 120–146.
- Perkin Elmer Corporation. 1996 Handbook of *Analytical Methods for Atomic Absorption Spectrometry* (Perkin-Elmer, USA).
- Plant J.A. and R. Raiswell in: I. Thornton (Ed). *Principles of Environmental Geochemistry*. Academic Press, London, 1983. p.1-39
- Piper, A.M. 1944, *A graphic procedure in the geochemical interpretation of water-analyses*, Trans Amer. Geophysical Union, V.25, pp.914-928
- Rawlins B. G., Ferguson A. J., Chilton P.J., Arthurton R. S., Grees J. 1998. *Review of agricultural pollution in the Caribbean with particular emphasis on small island developing States*. Marine Pollution Bulletin, 36.: 658 – 668.

- Rhoades, J.D., 1982. **Cation exchange capacity**. In A.L. Page, R.H. Miller and D.R. Keeney (ed.): Methods of Soil Analysis (Part 2): Chemical and Microbiological Properties. 2<sup>nd</sup> ed. American Society of Agronomy, Madison, WI, pp. 149-158
- Richards, I.A. 1954. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**, Agric. Handbook 60, U.S. Dept. Agric., Washington, D.C. 160p.
- Richards L.A., Bower C.A. and Firreman M. 1956. **Tests for Salinity and sodium status of soil and of irrigation water**. US Dept. of Agriculture, p.19
- Ross S.M. 1994. **Sources and forms of potentially toxic metals in soil-plant systems**. In: Ross S.M. (eds) Toxic Metals in soil-plant systems. Wiley, Chichester, pp. 4-25.
- Sahuquillo A., A. Rigol, G. Rauret. 2003. **Overview of the use of leaching /extraction tests for risk assessment of trace metals in contaminated soils and sediments**. Trends in Analytical Chemistry. Vol.22, No 3, p.152-159
- Sawidis T. 1997a. **Chemical pollution monitoring of river Pinios in the Mediterranean climatic region**. Toxicol. Environ. Chem. 62: 217 – 227.
- Sawidis T. 1997b. **Chemical pollution monitoring in freshwater systems from Macedonia, Greece: A comparative study**. Toxicol. Environ. Chem. 63: 215-226.
- Schlesinger W.H. 1991. **Biogeochemistry: An analysis of global change**. Academic Press, p.588
- Schnitzer M. and H. Kerndorff. 1980. **Sorption of metals on humic acid**. Geochim. Cosmochim. Acta 44: 1701-1715
- Schulze, D.G., J.L. Nagel, G.E. Scoyoc, T.L. Henderson, M.F. Baumgardner. 1993. **Significance of organic matter in determining soil colors**. p.71-90. In J.M. Bigham, and E.J. Ciolkosz (ed.) Soil Color. Soil Science Society of America, Madison, WI.
- Senwo Z.N. and I.A. Tazisong. 2004. **Metal contents in soils of Alabama**. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 35:2837-2848.
- Serelis K.G., I.G. Kafkala, K.Parpodis and S. Lazaris, 2010. **Anthropogenic and geogenic contamination due to heavy metals in the vast area of Vari, Attica**. Bulletin of the Geol. Soc. of Greece, XLIII, No 5:2390-2397.
- Sfetsos K. 1988. **Inventory of thermal and mineral springs of Greece, III Continental Greece**. Institute of Geological and Mineral Exploration, Hydrological and Hydrogeological Investigation No 39, pp 667.
- Shacklette H.T. and J.G. Boerngen. 1984. **Element concentrations in soils and other surficial materials of the conterminous United States**, U.S. Geological Survey Professional Pap., 1270, U.S. Gov. Print Office, Washington, DC, pp.105
- Shakuri, B.K. 1978. Nickel, Vanadium, **Chromium and strontium in soils of Nakhichevan Azerbaizhan SSR**, Pochvovedenie, 4, 49 (Ru)
- Shtangeeva I., H. Kehelin and H. Laiho.2005. **Effects of soil fertilization on uptake of macro- and trace elements. Intern Workshop Fate and Impact of Persistent Pollutants in agroecosystems**. IUNG, Pulawy, pp. 154-155.
- Shuman, L.M. 1991. **Chemical forms of micronutrients**. In Mortvedt et al (ed. Micronutrients in Agriculture.SSSA Book Series No4, 2<sup>nd</sup> edition. SSSA, Madison, WI. Pp113-144
- Siegel, F.R. 2002. **Environmental Geochemistry of Potentially Toxic Metals**. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, p. 218
- Sikora L.G., M.G. Bent, R.B. Corey and D.R. Keeney. 1976. **Septic nitrogen and phosphorus removal test system**. Groundwater.14, No 5 pp.309-314.
- Sillanpää M. and H. Jansson. 1992. **Status of cadmium, lead, cobalt and selenium in soils and plants of thirty countries**. FAO soils Bull 65, Rome
- Σιμώνης, Α. 1998. **Έδαφος και ανθρώπινη υγεία: Γενική θεώρηση**. -Πρακτικά 7<sup>ου</sup> Πανελληνίου Εδαφολογικού Συνεδρίου, Αγρίνιο 27-30/5/1998, έκδοση Ελληνικής Εδαφολογικής Εταιρείας, Θεσσαλονίκη. σελ. 13-47.
- Singh K., A. Malik and S. Sinha. 2005. **Water quality assessment and apportionment of pollution sources of Ganti River (India) using multivariate statistical techniques – A case study**. Analytica Chimica Acta 538, P: 355-374

- Skoulikidis N.Th. 1993 *Significance evaluation of factors controlling river water composition*. Environ Geol 1993;22:178– 85.
- Skoulikidis N.Th. 1991. *Overview on the hydrochemistry of the major Greek rivers*. Ann Geol Pays Hell , Vol. XXXV, pp.413-449
- Skoulikidis N. T., Bertahas I., Koussouris T. 1997. *The environmental state of freshwater resources in Greece Rivers and lakes*. Springer-Verlag, Environmental Geology 36: 1–2
- Σουλάντζος, Ν. 2007. *Ανθρωπογενείς επιδράσεις στην ποιοτική σύσταση των εδαφών και των υπόγειων νερών της ευρύτερης περιοχής Οινόφυτα-Αυλώνας της λεκάνης του Ασωπού ποταμού*. Μεταπτυχιακή μελέτη, Γεωλογικό κι Ατμοσφαιρικό Περιβάλλον, Γενικό Τμήμα, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, σελ.107.
- Σούλιος, Γ.Χ. 2004. *Γενική Υδρογεωλογία, 3<sup>ος</sup> τόμος ΣΤ. Αποθέματα και Διαχείριση Υπόγειου Νερού*, Αδελφοί Κυριακίδη, Θεσσαλονίκη.
- Σούλιος, Γ., 1975. *Υδρογεωλογική μελέτη της λεκάνης Ξυνιάδος (Φωκίδος)*. Διατριβή επί διδακτορία Α.Π.Θ. Σελ. 99.
- Sposito, G. 1989. *The chemistry of soils*, Oxford University Press, New York – Oxford pp.277
- Stalikas C. D., C. I. Chaidou and G. A. Pilidis. 1997. *Enrichment of PAHs and heavy metals in soils in the vicinity of the lignite-fired power plants of West Macedonia*. Science of the Total Environment, 204, 135–146.
- Σταμάτης, Γ. 2003. *Γεωγενής επιβάρυνση των νερών σε βαρέα τοξικά μέταλλα – επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία- περιοχές της χώρας με γεωγενή επιβάρυνση, μέθοδοι εξυγίανσης επιβαρημένων περιοχών*, εισήγηση στο Π.Μ.Σ. «Ειδικές Γεωτεχνικές – Υδρογεωλογικές Έρευνες και Χαρτογραφήσεις» του Πανεπιστημίου Πατρών, Πάτρα.
- Stamatis G., I.Gatsis, E. Psomiadis and I. Parcharidis, 2000. *Satellite data and GIS to the verification of coastal water pollution in Vavrona gulf (Attica, GR)*. –Proc. of an intern. Conf. "Protection and restoration of the environment", Thassos, Juli 2000, vol. A:535-542.
- Stamatis G., N Lambrakis, D. Alexakis and E. Zagana. 2006. *Groundwater quality in Mesogeia basin in eastern Attica (Greece)*, Hydrogeological Processes, 20, 2803-2818.
- Stamatis G., Parpodis K., Lambrakis N., Za Gana E. 2007. *Origin and quality of thermal ground waters in the region of Farsala (E. Thessaly/Greece)*, Proceedings of the 11th International Conference of the Geological Society of Greece, Athens. 24-26.05.2007, Δελτίο Ε.Γ.Ε. τόμος XXXX: 570-579.
- Stamatis G., Parpodis K., Filintas A., Zagana E. 2010. *Groundwater quality, nitrate pollution and irrigation environmental management in the Neocene sediments in an agricultural region in central Thessaly (Greece)*, Int. Journal of Geosciences, Environmental Geology, DOI 10.1007/s12665-011-0926-y.
- Σταυρόπουλος, Ξ., 1992. *Υδρογεωλογικές συνθήκες ευρείας περιοχής Κ. Αχαΐας – Μανωλάδας (ΒΔ Πελοπόννησος)*. Διδακτορική Διατριβή Ε.Μ.Π. Σελ. 241.
- Sterckeman, T., F. Douay, N.Proix., H.Fourrier, E. Perdrix, 2002. *Assessment of the contamination of cultivated soils by eighteen trace elements around smelters in the north of France*. Springer, Water, Air, and Soil Pollution, Volume 135, Numbers 1-4, , pp. 173-194
- Stoner E.R and M.F. Baumgardner. 1981. *Characteristic variations in reflectance of surface soils*. Soil Sci. Soc. Am. J. 45:1161-1165
- Stournaras G., 2011. *Groundwater in integrated environmental consideration*. Advances in the Research of Aquatic Environment Vol. I, N.Lambrakis et al. Eds, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, pp. 3-19
- Stumm, W. 1987. *Aquatic surface chemistry*, John Wiley & Sons Inc., USA, p. 520
- Stumm, W. 1992. *Chemistry of the solid-water interface: Processes at the mineral – water and particle-water interface in natural systems*, p: 428
- Stuyfzand, P.J. 1999. *Patterns in groundwater chemistry reflecting groundwater flow*. Hydrogeol. J. 7, Theme issue 'Groundwater as a geologic agent', J. Tóth (ed), Hydrogeology J. (7), 15-27.



- Suarez D. and Rhoades J. 1982. *Solution of Calcium carbonate in soils*, Soil Society of America Journal, Vol.46:716-722
- Ταγματάρχη, Θ. 2000. *Περιβαλλοντική-Γεωχημική μελέτη θαλασσινού νερού και θαλάσσιων ιζημάτων της παράκτιας ζώνης «Σχινιάς – Ραφήνα – Αρτέμιδα»*, Μεταπτυχιακή εργασία, Τμήμα Γεωλογίας, Τομέας Οικονομικής Γεωλογίας και Γεωχημείας, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών. 110 σελ.
- Talibudeen O. and Arambarri P. 1964. *The origin of calcium carbonates – exchangeable phosphate in calcareous soils*. Journal of Agriculture Science Cambr. Vol.62, pp.93-97
- Tani Y., N. Miyata, M. Ohashi, K. Iwahori, M. Soma and H. Seyma. 2003. *Interaction of Co (II), Zn (II) and As(III/IV) with manganese oxides formed by Mn-oxidizing fungus*. 16<sup>th</sup> Intern. Symp. Environ. Biogeochem. Oirase, p.113
- Tebo B.M., S.M. Webb, J.R. Bargar, K. Toyoda, H.A. Johnson, D.L. Parker, R.B. Verity, G.J. Dick and J.K. McCarthy. 2003. *Unraveling the molecular mechanisms of Mn oxide biomineralization*. 16<sup>th</sup> Intern. Symp. Environ. Biogeochem. Oirase, Japan, pp.7-8.
- Τερζίδης, Γ.Α., Ζ.Γ. Παπαζαφειρίου 1997. *Γεωργική Υδραυλική*, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη. σελ. 504
- Tessier A., P.G.C. Campbell and M. Bisson. 1979. *Sequential Extraction Procedure for the Speciation of Particulate Trace Metals*. Analytical Chemistry, No7, Vol. 51, : 844-851
- Τζαραμπάρης Χ. 2010. *Υδρογεωλογικό καθεστώς στον άνω ρου του Ασωπού ποταμού Βοιωτίας - Διερεύνηση παραγόντων ποιοτικής υποβάθμισης των υπόγειων υδάτων*. Μεταπτυχιακή διατριβή, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, σελ. 160
- Thomas, G.W., 1982. *Exchangeable cations*. In A.L. Page. R.H. Miller and D.R. Keeney (eds.): Methods of Soil Analysis (Part 2): 159-166
- Thornwaite C. W. 1948. *An approach toward a rational classification of climate*. The Geographical Review, 38, I, p. 55-94, New York
- Thornwaite, C. N. and J.R. Matter. 1957. *Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance*. Drexel Institute of Technology, Laboratory of Climatology Publication in Climatology, 10 No3, p.181-311, Conterton, New Jersey.
- Tisdale S. and W. Nelson. 1975. *Soil fertility and fertilizers*, Macmillan Publishing Co. Inc. New York. p.240
- Tiller, K.G. 1989. *Heavy metals in Soils and their environmental significance*. Advances in Soil Science, Vol.9, pp.113-142
- Tonkin J.W., L.S. Balistieri and J.W. Murray. 2004. *Modeling sorption of divalent cations on hydrous manganese oxide*. Appl. Geochem. 19:29-53.
- Torstensson, L. and dP. M. Castillo, 1997. *Use of biobeds in Sweden to minimize environmental spillages from agricultural spraying equipment*. Pesticide Outlook 8:3, 24-27.
- Tryfon H., Moustaka – Gouni M. and Nikolaidis G. 1996. *Phytoplankton and Nutrients in the River Strymon, Greece*. Int. Revue Ges. Hydrobiol. 81: 281 – 292.
- Τσαγκάρη Κ., Γ. Καρέτσος και Ν. Προύτσος. 2010. *Οι δασικές πυρκαγιές της Στερεάς Ελλάδας για τη χρονική περίοδο 1983 – 2005*. Ινστιτούτο Δασικών Ερευνών, Αθήνα, σελ.300.
- Τσαουσιδου Π., Α. Τσαγκαλίδης, Ε. Γκάρτζος, Κ. Χαϊντούτη, Δ. Γασπαράτος και Δ.Τερενίδης. 2004. *Κατανομή των Fe, Al, Cu, Co, Cr, Ni, Zn σε εδάφη Alfisols του Νομού Κιλκίς που σχηματίστηκαν σε γάββρο*. Πρακτικά 10<sup>ου</sup> Διεθνούς Συνεδρίου, Δελτίο Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας τομ. XXXVI, Vol.2 :174-182
- Turc, L., 1961. *Evaluation des besoins en eau d'irrigation, evapotranspiration potentielle, formule climatique simplifce et mise a jour*. (in French). Ann. Agron. 12:13-49.
- Tzanakou M. and D. Deligiorgi. 2006. *Trends of the daily maximum temperatures in relation with the climatic change and the urbanization in the Athens basin*. Global Nst, Vol. 8, No 3, pp 186-194
- Tzanis A., S. Chailas, Ch. Kranis, P. Sotiropoulos, P. Karmis 2008. *Geophysical investigation of Hydrogeological conditions and salination processes at the Marathon-Kato Souli basin (NE Attica, Greece)*. 8<sup>th</sup> Hydrogeological Congress of Greece, I: 399-410, Athens

- ΥΠΕΧΩΔΕ, 2005. ΠΟΡΙΣΜΑ. *Παρουσία εξασθενούς χρωμίου στα υπόγεια ύδατα περιοχής Κορωπίου* (Φ2176/5186/04.10.2005/Γεν. Επιθ. Δημ. Διοίκησης).
- van der Veen A., F. G. Fermoso and P. N. L. Lens. 2007. *Bonding Form Analysis of Metals and Sulfur Fractionation in Methanol-Grown Anaerobic Granular Sludge*. Eng. Life Sci. 7, No. 5, 480–489
- Vojteková V., Nováková J., Mackových D. and Blašková J. 2008. *A new method of evaluation of element pollutant mobility in sediments*. Chemical papers 62, No 2. Chemical and Material Science, Springerlink, pp.160-167
- Φιλίντας Θ. Αγ. 2005. *Συστήματα χρήσης γης με έμφαση στα γεωργικά μηχανήματα στις αρδεύσεις και στην νιτρορύπανση, με χρήση Δορυφορικής Τηλεπισκόπησης, Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών και Μοντέλων σε επίπεδο λεκάνης απορροής, στην Κεντρική Ελλάδα*. Τμήμα Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Μυτιλήνη
- Φλόκας Α. 1994. *Μαθήματα Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας*. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη, σελ.465
- Χαϊντούτη, Κ. 1977. *Γένεση μιας χρονοσειράς εδαφών στη Νοτιοδυτική Ελλάδα*, Διδακτορική διατριβή, Ανώτατη Γεωπονική Σχολή Αθηνών. σελ.157
- Χαλικιάς, Ι. 2003. *ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ, Μέθοδοι Ανάλυσης για Επιχειρηματικές Αποφάσεις*, Rosili, Αθήνα, σελ. 511
- Χαμπίδη, Π. 2005. *Ποιοτικά χαρακτηριστικά των υπόγειων νερών στη λεκάνη Μεσογείων Αττικής*, Μεταπτυχιακή Εργασία, Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής, ειδικευση Διαχείριση Περιβάλλοντος, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, σελ. 133
- Χαραλαμπίκης, Σ. 1952. *Συμβολή εις την γνώσιν του νεογενούς της Αττικής*, Annales Géologiques des pays Helléniques, 1ere série, 4eme tome. σελ.1-156
- Χαρμανίδης, Φ. 2002. *Υδατικά αποθέματα και ποιότητα υπόγειου υδατικού δυναμικού περιφέρειας Αττικής*, Γ2587/Y1814. Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, Αθήνα.
- Ψωμάδης, Ε. 2010. *Έρευνα γεωμορφολογικών και περιβαλλοντικών μεταβολών στην υδρολογική λεκάνη του Σπερχειού ποταμού με χρήση νέων τεχνολογιών*. Διδακτορική διατριβή, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, σελ. 394
- U.S. Congress, Office of Technology Assessment. 1990 *Beneath the Bottom Line: Agricultural Approaches to Reduce Agrichemical Contamination of Groundwater*, OTA-F-418 (Washington, DC: U.S. Government Printing Office) in [www.wws.princeton.edu/cgi-bin/byteserv.prl/~ota/disk2/1990/9006/9006.PDF](http://www.wws.princeton.edu/cgi-bin/byteserv.prl/~ota/disk2/1990/9006/9006.PDF)
- U.S.Department of the Interior, Bureau of Reclamation, 2011. *Cyanide, fact sheet* in [www.usbr.gov](http://www.usbr.gov)
- Valmis, S., P. Kerkides and S. Aggelides. 1988. *Soil aggregate instability index and statistical determination of oscillation time in water*. Soil Sci. Soc. Am. J.52:1188-1191
- Vangronsveld J., and S.D. Cunningham. 1998. *Introduction to the concepts*. In: Vangronsveld, J., Cunningham, S.D. (Eds). Metal contaminated soils. In situ inactivation and phytoremediation. Springer-Verlag, New York. 1-15.
- Vinten A. J. A., Howard R. S. & Redman M. H. 1991. *Measurement of nitrate leaching losses from arable plots under different nitrogen input regimes*. Soil Use Magmt. 7: 3- 14.
- Wacker, W.E.C. 1980. *Magnesium and Man*. Howard Univ. Press, Cambridge, MA. p.171
- Webster, R. and Oliver, M.A. 1990. *Soil surveys; Soils; Statistical methods; Classification*. Oxford University press. 316 p.
- Welch R.M. and W.A. Norvell. 1999. *Mechanisms of cadmium uptake, translocation and deposition in plants*. In: McLaughlin MJ, Singh BR (eds) Cadmium in soils and plants, 85. Kluwer Publ, pp.125-150.
- Whelan, R.J., 1995. *The ecology of fire*. Cambridge University Press.
- WHO (2006): *Guidelines for drinking water quality*.-vol. 1, 3<sup>d</sup> edn, World Health Organization, Geneva. p. 515
- Wilcox, L.V. 1955. *Classification and use of irrigation waters*, U.S. Dept. Agric. Circ. 969, Washington, D.C. 19p.

- Wright W.R. and J.E. Foss. 1972. *Contribution of clay and organic matter to the cation exchange capacity of Maryland soils*. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 36: 115-118
- Yassoglou N., C. Kosmas and N. Moustakas. 1997. *The red soils, their origin, properties, use and management in Greece*, Catena, 28: 261-278.
- Zavarin, M. 1999. *Sorptive properties of synthetic and soil carbonates for selenium, nickel and manganese*. Ph.D.diss. Univ. of California, Berkeley, C.A.
- Zhang X.P., W. Deng and X.M. Yang. 2002. *The background concentrations of 13 soil trace element relationship to parent materials and vegetation in Xizang (Tibet), China*. Journal of Asian Earth 21, 167-174.
- Zonn, V.S. 1986. *Tropical and subtropical Soil Science*. Mir Publications, Moscow p.442
- Zumdahl S. 1997. *Chemistry*. 4th ed. Boston: Houghton Mifflin Company. p 133-145.

### Ηλεκτρονικές διευθύνσεις στο διαδίκτυο

- <http://effis.jrc.ec.europa.eu/> (ιστοσελίδα της European Forest Fire Information System -EFFIS)
- <http://www.aia.gr> (ιστοσελίδα του Διεθνούς Αερολιμένα Αθηνών «Ελ. Βενιζέλος»)
- <http://www.asda.gr/elxoro/Mesogeia.htm>
- <http://www.atomixinc.com>
- [http://www.chechnet.org/healthhouse/chemicals/chemicals-detail-print.asp?Main\\_ID=278](http://www.chechnet.org/healthhouse/chemicals/chemicals-detail-print.asp?Main_ID=278)
- <http://www.chem.uoa.gr>
- <http://www.chesapeakebay.net/nutr1.htm>
- <http://www.epa.gov/acidrain/index.html>
- <http://www.epa.gov/ttnchie1/ap42/ch01/final/c01s07.pdf> (Lignite Combustion: AP-42, Vol. I, CH1.7)
- <http://www.ese.edu.gr> (ιστοσελίδα της Ελληνικής Σπηλαιολογικής Εταιρείας)
- <http://www.europa.eu.int> (επίσημη ιστοσελίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης)
- <http://www.extension.umn.edu/info-u/environment/BD282.html>
- <http://www.greenfacts.org/en/fluoride/fluorides-3/02-environment.htm#2p0>
- <http://www.ground-water-models.com>
- <http://www.iastate.edu> (ιστοσελίδα του Iowa State University)
- <http://www.koropi.gr> (ιστοσελίδα του Δήμου Κορωπίας)
- <http://www.lenntech.com/heavy-metals.htm>
- <http://www.luminet.net/~wenonah/hydro/heavmet.htm>
- <http://www.meteo.gr> (ιστοσελίδα του Εθνικού Αστεροσκοπείου)
- <http://www.mhhe.com>
- [http://www.minenv.gr/1/12/121/12103/g1210300/00/Eniaios\\_Katalogos09.xls](http://www.minenv.gr/1/12/121/12103/g1210300/00/Eniaios_Katalogos09.xls) (Ιστοσελίδα του Υπουργείου εσωτερικών με τις περιοχές Natura 2000)
- <http://www.nhlakes.org/edbrochures/phosphoruspollution.htm>
- <http://www.pikermi.gr> (ιστοσελίδα του Δήμου Ραφήνας-Πικερμίου)
- <http://www.portoraftinews.gr> (ιστοσελίδα του Δήμου Μαρκόπουλου Μεσογαίας)
- <http://www.rce.rutgers.edu/pubs/pdfs/fs956.pdf>
- <http://www.royal.okanagan.bc.ca/mpidwirn/atmosphereandclimate/acidprecip.html>
- <http://www.statistics.gr> (επίσημη ιστοσελίδα της Ελληνικής Στατιστικής Αρχής)
- <http://www.tjclarkinc.com/minerals>
- <http://www.tutiempo.net/clima> (παγκόσμια κλιματικά δεδομένα)
- <http://water.usgs.gov/pubs/wri/wri024149/introduction.htm>
- <http://www.waterencyclopedia.com>

### ΧΑΡΤΕΣ

- Βουγιούκας, Γ. (Lepsius R.) 1893. *Γεωλογικός Χάρτης Αττικής*, κλίμακα 1:100.000
- Κατσικάτσος Γ. 1997. *Γεωλογικός Χάρτης*, φύλλο **ΚΗΦΙΣΙΑ**, κλίμακα 1:50.000, Ι.Γ.Μ.Ε.
- Κατσιαβριάς Ν. 2007. *Γεωλογικός Χάρτης*, Φύλλο **ΚΟΡΩΠΙ-ΠΛΑΚΑ.**, κλίμακα 1:50.000
- Κατσικάτσος Γ. 1977. *Γεωλογικός Χάρτης*, φύλλο **ΡΑΦΗΝΑ**, κλίμακα 1:50.000, Ι.Γ.Μ.Ε.

- *Τοπογραφικός χάρτης*, φύλλο **ΚΗΦΙΣΙΑ** , 1988 κλίμακα 1:50.000, ΓΥΣ.
- *Τοπογραφικός χάρτης*, φύλλο **ΚΟΡΩΠΙ**, 1988 κλίμακα 1:50.000, ΓΥΣ.
- *Τοπογραφικός χάρτης*, φύλλο **ΠΛΑΚΑ** , 1988 κλίμακα 1:50.000, ΓΥΣ.
- *Τοπογραφικός χάρτης*, φύλλο **ΡΑΦΗΝΑ**, 1989 κλίμακα 1:50.000, ΓΥΣ.

# ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ



**Πίνακας Ι: Εκμεταλλεύσεις και εκτάσεις αυτών (σε εκτάρια) κατά είδος καλλιέργειας (ΕΛ. ΣΤΑΤ. 1999-2000).**

ΣΥΝΟΛΟ ΕΛΛΑΔΟΣ ΜΕΓ. ΓΕΩΓΡ. ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΩΣ ΝΟΜΟΙ ΔΗΜΟΙ/ΚΟΙΝΟΤΗΤΕΣ ΔΗΜΟΤΙΚΑ /ΚΟΙΝΟΤΙΚΑ ΔΙΑΜΕΡΙΣΜΑΤΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΔΙΑΜΕΡΙΣΜΑΤΑ	ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΕΙΣ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΜΕΝΗ ΓΕΩΡΤΙΚΗ ΕΚΤΑΣΗ	ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΕΙΣ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΜΕΝΗ ΓΕΩΡΤΙΚΗ ΕΚΤΑΣΗ	ΕΚΤΑΣΕΙΣ ΚΑΤΑ ΕΙΔΟΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ															
			ΕΠΗΣΙΕΣ ΚΑΛΛΙΕΡΤΕΙΕΣ		ΔΕΝΔΡΟΕΙΣ ΚΑΛΛΙΕΡΤΕΙΕΣ		ΑΜΠΕΛΙΑ ΚΑΙ ΣΤΑΦΙΔΑΜΠΕΛΑ		ΜΟΝΙΜΑ ΛΙΒΑΔΙΑ ΚΑΙ ΒΟΣΚΟΤΟΠΟΙ		ΑΓΡΑΝΑΠΑΥΣΕΙΣ		ΛΟΙΠΕΣ ΕΚΤΑΣΕΙΣ					
			ΕΚΜΕΤ	ΕΚΤΑΣ	ΕΚΜΕΤ	ΕΚΤΑΣ	ΕΚΜΕΤ	ΕΚΤΑΣ	ΕΚΜΕΤ	ΕΚΤΑΣ	ΕΚΜΕΤ	ΕΚΤΑΣ	ΕΚΜΕΤ	ΕΚΤΑΣ	ΕΚΜΕΤ	ΕΚΤΑΣ	ΕΚΜΕΤ	ΕΚΤΑΣ
ΔΗΜΟΣ ΠΑΛΛΗΝΗΣ	179,0	172,0	2.223,0	1,0	2,0	130,0	667,0	145,0	1.531,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0	4,0	22,0
ΔΗΜΟΣ ΑΡΤΕΜΙΔΟΣ	14,0	14,0	94,7	1,0	5,0	14,0	76,7	3,0	13,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ΔΗΜΟΣ ΚΡΨΠΑΣ	1.469,0	1.461,0	23.763,4	125,0	909,7	1.326,0	11.286, 8	962,0	7.800,7	8,0	3.706,5	6,0	50,0	17,0	9,7	0,0	0,0	0,0
ΔΗΜΟΣ ΜΑΡΚΟΠΟΥΛΟΥ ΜΕΣΟΓΑΙΑΣ	851,0	848,0	28.892,1	32,0	455,4	674,0	6.106,6	645,0	9.379,4	29,0	12.204, 6	101,0	745,6	1,0	0,5	0,0	0,0	0,0
ΔΗΜΟΣ ΠΑΙΔΑΝΙΑΣ	903,0	902,0	16.478,1	32,0	360,9	812,0	7.697,9	612,0	7.800,6	1,0	200,0	50,0	413,0	11,0	5,7	0,0	0,0	0,0
ΔΗΜΟΣ ΡΑΦΗΝΑΣ	107,0	107,0	1.812,4	5,0	328,0	91,0	664,8	33,0	189,6	6,0	630,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ΔΗΜΟΣ ΣΗΛΑΤΩΝ- ΛΟΥΤΣΑΣ	1.060,0	1.051,0	14.360,7	8,0	386,0	973,0	5.557,4	880,0	8.416,3	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	1,0	0,0	0,0	0,0
ΔΗΜΟΣ ΓΛΥΚΩΝ ΝΕΡΩΝ	36,0	36,0	1.310,5	7,0	42,0	34,0	540,8	10,0	224,0	7,0	482,7	1,0	4,0	19,0	17,0	0,0	0,0	0,0
ΔΗΜΟΣ ΠΙΚΕΡΜΙΟΥ	43,0	42,0	535,0	1,0	16,0	34,0	182,8	31,0	262,0	3,0	46,0	2,0	25,0	8,0	3,2	0,0	0,0	0,0
ΠΟΣΟΣΤΑ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗΣ					16,66%		42,48%		25,85%		12,57%		2,32%		0,09%			0,02%
ΝΟΜΑΡΧΙΑ ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ Α	12.922,0	12.790,0	237.800,4	2.098,0	52.033	11.397,0	106.289	5.796,0	48.983	157,0	23.870, 4	504,0	6.347,3	351,0	247,9	8,0	32,3	



**Πίνακας II:** Κτηνοτροφία - εκμεταλλεύσεις κι αριθμός ζώων κατά κατηγορία (ΕΛ.ΣΤΑΤ., 1999 -2000)

ΔΗΜΟΙ	ΒΟΟΕΙΔΗ ΣΥΝΟΛΟ		ΠΡΟΒΑΤΟΕΙΔΗ		ΑΙΓΕΣ		ΧΟΙΡΟΙ		ΙΠΠΟΕΙΔΗ & ΟΝΟΙ		ΚΟΥΝΕΛΙΑ		ΠΟΥΛΕΡΙΚΑ		ΚΥΨΕΛΕΣ	
	ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΕΙΣ	ΚΕΦΑΛΙΑ	ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΕΙΣ	ΚΕΦΑΛΙΑ	ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΕΙΣ	ΚΕΦΑΛΙΑ	ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΕΙΣ	ΚΕΦΑΛΙΑ	ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΕΙΣ	ΚΕΦΑΛΙΑ	ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΕΙΣ	ΚΕΦΑΛΙΑ	ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΕΙΣ	ΚΕΦΑΛΙΑ	ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΕΙΣ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΥΨΕΛΩΝ
ΑΡΤΕΜΙΔΙΟΣ	0	0	0	0	1	4	0	0	0	0	0	0	0	3	55	0
ΓΕΡΑΚΑ	0	0	0	5	262	3	32	0	0	0	0	0	2	3600	0	0
ΓΛΥΚΩΝ ΝΕΡΩΝ	0	0	0	6	396	3	129	0	0	0	0	0	13	241	0	0
ΚΡΩΠΙΑΣ	3	36	3	24	4305	8	200	3	990	1	4	2	60	14	252470	7
ΜΑΡΚΟΠΟΥΛΟ	2	22	1	44	7493	163	485	1	45	0	0	0	6	18175	0	0
ΠΑΙΑΝΙΑ	2	4	1	2	661	5	96	0	0	1	3	5	92	16	61345	4
ΠΑΛΛΗΝΗ	3	54	2	32	442	1	2	3	76	0	0	1	30	3	650	1
ΠΙΚΕΡΜΙΟΥ	2	27	2	17	906	3	90	0	0	1	150	3	66	11	6258	0
ΡΑΦΗΝΑ	0	0	0	0	375	4	30	0	0	0	0	0	0	3	180	1
ΣΠΑΤΑ-ΛΟΥΤΣΑ	3	68	3	15	3699	1	51	1	12	0	0	0	0	0	0	0
ΣΥΝΟΛΟ	15	211	12	92	18539	192	1119	8	1123	3	157	11	248	68	342922	68
ΑΝ. ΑΙΤΤΙΚΗ	65	1523	51	935	54848	529	12134	105	11196	24	186	158	3556	1186	1003500	69
																4273

**Πίνακας III** Οικονομικά Ενεργός Πληθυσμός ετών 1971-1981 (ΕΛ.ΣΤΑΤ.)

Νομός, Δήμος	ΠΡΩΤΟΓΕΝΗΣ ΤΟΜΕΑΣ		ΔΕΥΤΕΡΟΓΕΝΗΣ ΤΟΜΕΑΣ		ΤΡΙΤΟΓΕΝΗΣ ΤΟΜΕΑΣ		ΝΕΟΙ ΜΗ ΔΗΛΩΣΑΝΤΕΣ		ΣΥΝΟΛΟ	
	1971	1981	1971	1981	1971	1981	1971	1981	1971	1981
ΔΗΜΟΣ ΑΡΤΕΜΙΔΟΣ		30		633		711		98		1.472
ΔΗΜΟΣ ΓΕΡΑΚΑ		40		1.200		780		150		2.170
ΔΗΜΟΣ ΚΡΩΠΙΑΣ	904	830	1.332	1.730	856	1.265	52	460	3.144	4.285
ΔΗΜΟΣ ΜΑΡΚΟΠΟΥΛΟΥ	812	570	712	1.040	596	1.240	36	240	2.156	3.090
ΔΗΜΟΣ ΠΑΙΑΝΙΑΣ	772	520	1.588	710	1.424	831	88	260	3.872	2.321
ΔΗΜΟΣ ΠΑΛΛΗΝΗΣ	100	50	528	860	360	877	28	200	1.016	1.987
ΔΗΜΟΣ ΡΑΦΗΝΑΣ	68	60	260	570	464	1.125	52	110	844	1.865
ΔΗΜΟΣ ΣΠΑΤΩΝ-ΛΟΥΤΣΑΣ	728	600	588	710	568	547	12	220	1.896	2.077
ΠΟΣΟΣΤΑ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗΣ	26,18%	14,01%	38,74%	38,68%	33,01%	38,28%	2,07%	9,02%		
<b>Ν. ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ</b>	<b>6.984</b>	<b>5.579</b>	<b>15.788</b>	<b>22.443</b>	<b>11.700</b>	<b>22.387</b>	<b>644</b>	<b>4.33</b>	<b>35.1</b>	<b>54.7</b>

**Πίνακας IV** Οικονομικά Ενεργός Πληθυσμός (ΕΛ.ΣΤΑΤ., 2001)

Νομός, Δήμος	Οικονομικώς ενεργοί						Άνεργοι Σύνολο	Οικονομικώς μη ενεργοί
	Σύνολο	Σύνολο	Πρωτογενής Τομέας	Δευτερογενής Τομέας	Τριτογενής Τομέας	Δε δήλωσαν κλάδο οικονομικής δραστηριότητας		
ΔΗΜΟΣ ΑΡΤΕΜΙΔΟΣ	6.550	5.694	88	1.820	3.402	384	856	8.169
ΔΗΜΟΣ ΓΕΡΑΚΑ	6.637	5.968	54	1.459	3.831	624	669	7.353
ΔΗΜΟΣ ΚΡΩΠΙΑΣ	11.063	10.156	774	3.499	5.151	732	907	13.390
ΔΗΜΟΣ ΜΑΡΚΟΠΟΥΛΟΥ	5.632	5.181	327	1.442	2.859	553	451	8.012
ΔΗΜΟΣ ΠΑΙΑΝΙΑΣ	5.754	5.212	433	1.526	3.009	244	542	7.243
ΔΗΜΟΣ ΠΑΛΛΗΝΗΣ	8.104	7.417	106	1.776	4.916	619	687	9.128
ΔΗΜΟΣ ΡΑΦΗΝΑΣ	4.668	4.356	88	1.148	2.956	164	312	6.033
ΔΗΜΟΣ ΣΠΑΤΩΝ	4.453	4.061	355	1.121	2.219	366	392	5.966
ΔΗΜΟΣ ΓΛΥΚΩΝ ΝΕΡΩΝ	3.210	2.821	36	743	1.813	229	389	2.869
ΔΗΜΟΣ ΠΙΚΕΡΜΙΟΥ	1.329	1.242	27	230	928	57	87	1.277
ΠΟΣΟΣΤΑ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗΣ			4,75%	30,67%	64,58%			
<b>ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΑΤΤΙΚΗ</b>	<b>171.049</b>	<b>154.094</b>	<b>7.670</b>	<b>42.706</b>	<b>90.872</b>	<b>12.846</b>	<b>16.955</b>	<b>215.018</b>

Πίνακας V: Κλιματολογικά στοιχεία των σταθμών της περιοχής

ΜΗΝΑΣ	ΣΠΑΤΑ (2008-2009)				ΥΕΤΟΣ	ΡΑΦΗΝΑ (1974-1983)			
	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (°C)			ΥΕΤΟΣ		ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (°C)			ΥΕΤΟΣ
	Μέση	Μέση μέγιστη	Μέση ελάχιστη			Μέση	Μέση μέγιστη	Μέση ελάχιστη	
I	14,1	18,6	4,6	78,2	9,2	12,4	6,2	44,9	
Φ	13,4	19,4	1,4	46,8	10,1	13,3	6,7	63,6	
M	16,4	23,3	3,8	75,6	12	15,1	8,2	35,2	
A	19,6	24,2	6,8	24,4	15,2	18,5	10,7	16	
M	26,5	34,1	10,1	3,4	19,9	22,7	14,8	10,6	
I	30,7	35,1	16,2	0,2	24,3	26,7	18,7	5,8	
I	33,5	39,3	19,6	6,2	26,4	28,5	21,8	3,1	
A	31,9	36,4	19,2	3,4	25,9	27,5	21,9	1,4	
Σ	27,4	33,6	14,8	25,2	22,9	25,6	19,1	16,5	
O	23,6	28,7	9,8	77,6	18,8	22,7	15,5	52,8	
N	20	23,2	7,6	42	14,3	17,8	10,9	54	
Δ	13,45	19,05	3,55	129,2	11,3	14,3	8,2	53,7	
ΜΗΝΑΣ	ΠΟΡΤΟ ΡΑΦΤΗ (2008-2009)				ΥΕΤΟΣ	ΠΑΙΑΝΙΑ (1972-1983)			
	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (°C)			ΥΕΤΟΣ		ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (°C)			ΥΕΤΟΣ
	Μέση	Μέση μέγιστη	Μέση ελάχιστη			Μέση	Μέση μέγιστη	Μέση ελάχιστη	
I	12,95	17,25	2,1	51,3	8,1	11,8	4,8	49,8	
Φ	12,7	19,5	-3,35	38,3	8,7	12,4	5,2	80,3	
M	16,75	23,25	4,4	57,8	11,3	15,5	6,6	91,4	
A	19,5	25,85	5,6	25,5	15	19,3	9,6	42	
M	19,25	31,9	9,45	1	19,9	24,3	13,8	24,1	
I	29,1	35,4	14,85	4,9	24,9	29,4	18	7,9	
I	31	36,6	18,6	0,7	27	31,4	20,8	0,4	
A	30,35	36	18,25	0,5	26	30,6	20,4	7,1	
Σ	25,85	33,1	11,9	14,1	22,9	27,7	17,8	7,5	
O	22,7	28,3	10,2	36,75	18,8	23,4	14,1	52,2	
N	19,35	25,5	6,85	51,4	13,7	17,6	10,1	90,9	
Δ	15,75	20,8	1,85	81,5	10,4	14	7,1	101,1	
ΜΗΝΑΣ	ΚΑΝΤΖΑ (2008-2009)				ΥΕΤΟΣ	ΣΠΑΤΑ (1957-2009)			
	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (°C)			ΥΕΤΟΣ		ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (°C)			ΥΕΤΟΣ
	Μέση	Μέση μέγιστη	Μέση ελάχιστη			Μέση	Μέση μέγιστη	Μέση ελάχιστη	
I	13,6	17,4	2,6	84,5	8,6	12,2	4,3	42,4	
Φ	14,75	18,35	2,5	29,4	9	12,7	4,7	33,2	
M	17,15	24,75	3,55	84,5	11,1	15,1	6,3	28,5	
A	20,4	26,9	5	47,7	14,7	18,5	8,6	13,1	
M	25,55	33,4	8,3	5,7	19,9	24	13	9	
I	30,55	37,45	14,85	2,9	25	29,5	17,3	3,6	
I	32,65	37,95	18,6	4,4	27,1	31,1	20,1	1,2	
A	32,25	36	17,7	3,4	26,4	30,4	19,9	3,5	
Σ	26,95	33,95	10,6	35,9	22,8	27,7	16,5	2,7	
O	23,05	29,1	9,3	57,8	18,1	22,6	13,1	32,4	
N	19,3	25,9	5,6	61,6	13,5	17,3	9,3	46,6	
Δ	14,8	20,45	2,2	104,2	10,2	13,7	6,2	52,2	
ΜΗΝΑΣ	ΜΑΡΚΟΠΟΥΛΟ (2006-2009)				ΥΕΤΟΣ	ΑΓ. ΠΕΤΡΟΣ (2008-2009)			
	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (°C)			ΥΕΤΟΣ		ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (°C)			ΥΕΤΟΣ
	Μέση	Μέση μέγιστη	Μέση ελάχιστη			Μέση	Μέση μέγιστη	Μέση ελάχιστη	
I	14,233	18,233	14,233	14,233	7.7	15.2	1.6	104.4	
Φ	13,233	18,633	13,233	13,233	5.5	16.7	-1.1	61.7	
M	16,867	22,9	16,867	16,867	8.7	23.8	0.8	80.8	
A	20,133	26,133	20,133	20,133	11.7	22.2	6.2	20.5	
M	25,5	31,933	25,5	25,5	18.95	31.9	13.35	1.25	
I	30,6	38,267	30,6	30,6	23.3	36.75	14.05	4.45	
I	32,5	39,3	32,5	32,5	25.25	35.85	17.55	16.5	
A	31,733	36,433	31,733	31,733	24.45	33	17.2	2.8	
Σ	26,967	35,667	26,967	26,967	20.1	32.45	9.2	71.3	
O	22,6	28,475	22,6	22,6	16	26.6	7.35	72.8	
N	18,35	24,375	18,35	18,35	12.5	23.65	5.1	63.05	
Δ	14,45	19,375	14,45	14,45	7.85	16.8	1.05	174.05	

Πίνακας V (συνέχεια)

ΜΗΝΑΣ	ΚΗΦΙΣΙΑ (2008-2009)				ΥΕΤΟΣ	ΠΑΛΛΗΝΗ (1999-2009)			
	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (°C)			ΥΕΤΟΣ		ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (°C)			ΥΕΤΟΣ
	Μέση	Μέση μέγιστη	Μέση ελάχιστη			Μέση	Μέση μέγιστη	Μέση ελάχιστη	
I	8.55			65.6	9,18	17,78	1,48	47,92	
Φ	7.85			60.9	9,07	18,42	0,57	40,00	
M	11.8			72.1	11,74	23,28	3,97	43,78	
A	15.05			37.4	15,05	25,41	7,16	14,56	
M	19.8			13.5	20,18	29,88	11,79	12,16	
I	24.7			8.5	24,95	34,78	16,34	7,84	
I	26.75			18	27,43	36,82	19,95	6,10	
A	26.2			4.1	27,19	36,06	20,44	0,18	
Σ	21.25			44.7	22,54	32,93	15,43	25,02	
O	17.65			60.8	18,74	28,35	10,91	39,10	
N	14.1			41.6	14,40	23,57	5,91	67,12	
Δ	10.95			118.1	10,76	19,05	2,65	51,12	
I Φ M A M I I A Σ O N Δ	ΓΛΥΚΑ ΝΕΡΑ (1999-2009)				ΥΕΤΟΣ	ΚΟΡΩΠΙ (1999-2009)			
	8,98	17,50	1,50	57,60		9,48	18,75	0,14	46,08
	8,79	18,10	0,20	49,68		9,58	19,08	-1,05	46,64
	11,72	22,95	3,86	53,02		12,26	23,32	2,94	39,20
	14,85	25,13	7,19	19,50		15,28	26,45	5,10	24,88
	20,09	30,07	11,75	19,10		20,34	31,30	10,13	14,76
	24,96	34,77	16,69	9,60		25,50	36,18	14,39	7,18
	27,43	36,78	19,96	10,64		27,74	38,15	18,59	8,50
	27,22	36,91	20,32	0,42		27,57	36,62	17,55	1,16
	22,39	32,83	15,51	29,38		22,44	33,12	12,21	20,66
	18,54	28,24	10,52	58,50		18,26	27,93	8,04	61,22
	14,12	23,47	5,84	80,62		14,21	24,67	4,60	77,36
	10,46	18,61	2,61	56,40		10,46	20,52	1,32	45,22
I Φ M A M I I A Σ O N Δ	ΣΠΑΤΑ (1999-2009)				ΥΕΤΟΣ	ΜΑΡΚΟΠΟΥΛΟ (1999-2009)			
	9,94	19,91	2,30	31,50		9,79	18,00	1,94	45,88
	9,66	19,20	0,86	35,56		9,69	18,47	0,86	42,82
	12,50	23,79	4,55	47,92		12,70	22,90	4,83	42,96
	15,44	25,46	7,44	17,62		15,45	25,92	7,12	25,58
	20,55	30,36	11,77	22,68		20,41	30,78	11,60	8,50
	25,29	35,10	16,23	12,40		25,21	35,07	16,37	3,96
	27,90	37,51	20,30	10,80		27,70	37,01	20,57	6,46
	27,76	36,88	20,62	0,26		27,53	36,70	20,46	1,54
	23,15	33,34	15,84	24,02		23,00	33,44	15,33	24,12
	19,23	28,69	11,43	65,36		19,14	28,42	11,09	48,42
	14,84	23,80	6,38	37,00		14,80	23,96	6,13	63,78
	11,34	19,97	3,19	48,00		11,73	19,72	3,31	37,06
I Φ M A M I I A Σ O N Δ	ΣΧΕΤΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ %	ΡΑΦΗΝΑ	ΠΑΙΑΝΙΑ	ΣΠΑΤΑ ΕΜΥ	ΓΛΥΚΑ ΝΕΡΑ	ΚΟΡΩΠΙ	ΜΑΡΚΟΠΟΥΛΟ	ΠΑΛΛΗΝΗ	ΣΠΑΤΑ (aia)
		72,9	71,8	69,9	66,31	67,45	67,14	66,16	66,58
		74,6	72	69,7	63,83	64,42	64,83	63,75	64,56
		73,4	68,8	67,2	59,73	61,82	61,19	60,40	61,42
		67,2	61,5	62,8	54,79	56,23	56,87	55,45	56,78
		65,5	56	56,9	46,38	49,00	49,49	46,70	48,88
		61,7	46,3	49,8	40,41	41,48	42,52	40,42	42,36
		63,2	46,2	46,1	38,53	38,76	40,85	38,67	40,10
		64,5	50,2	50	39,77	40,69	42,28	40,11	40,98
		67,2	56,9	55,8	53,04	55,24	53,80	53,15	54,22
		70,8	66	65,7	60,73	61,48	62,69	60,90	62,01
		72,9	72,4	72	66,70	68,18	67,58	67,05	67,85
		71,9	72,3	72,4	67,95	68,88	67,65	68,13	68,47

**Πίνακας VI:** Μετρούμενη παροχή και μέσος όρος κατακρημνισμάτων των 5 σταθμών του Διεθνούς Αερολιμένα Αθηνών

2005	ΕΡΑΣΙΝΟΣ	Μ.ΡΕΜΑ	2005	ΕΡΑΣΙΝΟΣ	Μ.ΡΕΜΑ	2005	ΕΡΑΣΙΝΟΣ	Μ.ΡΕΜΑ	2005	ΕΡΑΣΙΝΟΣ	Μ.ΡΕΜΑ	2006	ΕΡΑΣΙΝΟΣ	Μ.ΡΕΜΑ
ΣΕΙΤ	PP	m <sup>3</sup> /sec	ΟΚΤ	PP	m <sup>3</sup> /sec	NOE	PP	m <sup>3</sup> /sec	ΔΕΚ	PP	m <sup>3</sup> /sec	ΙΑΝ	PP	m <sup>3</sup> /sec
1	0		1	0		1	0,6		1	0		1	0	
2	0		2	0		2	1,2		2	0		2	0	
3	0		3	0		3	3,6		3	0		3	10,0	
4	0		4	0		4	0		4	0		4	1,4	
5	0		5	0		5	0		5	0		5	21,8	
6	0		6	0	0,094	0,115	0	0,055	0,272	6	0	6	3,8	
7	0		7	0		7	0		7	0		7	0,2	1,242
8	0		8	0		8	0		8	0		8	0,1	
9	0		9	0		9	0		9	0		9	1,8	
10	0		10	0		10	0		10	0		10	0,9	
11	0		11	0,3		11	0		11	0	0,070	11	1,0	
12	0		12	0		12	0		12	0		12	2,3	
13	0		13	0	0,062	0,102	0	0,051	0,117	13	0	13	1,7	
14	0		14	0		14	0		14	11,0		14	0,1	0,800
15	0,6		15	0		15	0		15	0,8	0,421	15	0,2	
16	14,7		16	0,9		16	0		16	0		16	0	
17	0	0,48	17	0		17	59,4		17	0		17	0	
18	0		18	0,4		18	0,5		18	0,5		18	0	
19	0		19	0		19	0,8		19	0		19	0,2	
20	0		20	0	0,016	0,190	0		20	0		20	0	
21	0		21	0		21	0		21	0		21	0	
22	9,9		22	0		22	10,2		22	0	0,081	22	9,5	
23	13,3		23	0		23	38,0		23	0		23	3,9	
24	5,0		24	0		24	57,2		24	0		24	0,8	
25	0,1	0,39	25	0		25	24,7	2,958	3,154	25	0	25	1,4	
26	0		26	0		26	2,0		26	1,0		26	1,4	
27	0		27	0		27	7,9		27	0,5		27	0	
28	0		28	0		28	0		28	5,9		28	0	0,328
29	0	0,140	29	0		29	0		29	3,6	0,130	29	0	0,046
30	0,4		30	0		30	0		30	0		30	0	
			31	1,0		31	0		31	0		31	0	

2006	ΦΕΒ	PP	ΕΡΑΣΙΝΟΣ	Μ.ΡΕΜΑ	2006	ΜΑΡ	PP	ΕΡΑΣΙΝΟΣ	Μ.ΡΕΜΑ	2006	ΑΠΡ	PP	ΕΡΑΣΙΝΟΣ	Μ.ΡΕΜΑ	2006	ΜΑΪ	PP	ΕΡΑΣΙΝΟΣ	Μ.ΡΕΜΑ	2006	ΙΟΥΝ	PP	ΕΡΑΣΙΝΟΣ	Μ.ΡΕΜΑ
			m <sup>3</sup> /sec	m <sup>3</sup> /sec				m <sup>3</sup> /sec	m <sup>3</sup> /sec				m <sup>3</sup> /sec	m <sup>3</sup> /sec				m <sup>3</sup> /sec	m <sup>3</sup> /sec				m <sup>3</sup> /sec	m <sup>3</sup> /sec
1	3,2	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0,1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0
2	0,1	0	0	0	2	0	0	0	0	2	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	2	0	0	0
3	0	0	0	0	3	0	2,3	0,404	1,034	3	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0
4	0	0	0	0	4	0	0,7	0	0	4	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	4	0	0,016	0,082
5	12,3	0	0	0	5	0	0,1	0	0	5	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	5	0	0	0
6	5,0	0	0	0	6	1,1	0	0	0	6	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	6	0	0	0
7	0,3	0,403	0,788	0	7	5,6	0	0	0	7	0	0	0,056	0,158	7	0	0	0,056	0,158	7	0	0	0	0
8	0	0	0	0	8	10,1	0	0,125	0,309	8	0,3	0	0	0	8	0,3	0	0	0	0	8	0	0	0
9	0	0	0	0	9	0,1	0	0	0	9	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	9	2,6	0	0
10	0	0	0	0	10	0	0	0	0	10	0	0	0,7	0	10	0,7	0	0	0	0	10	7,0	0	0
11	3,5	0	0	0	11	7,3	0	0	0	11	0	0	0	0	11	0	0	0	0	0	11	0,1	0,066	0,156
12	0	0,421	0,951	0	12	7,4	0,328	0,648	0	12	0	0	0	0	12	0	0	0	0	0	12	4,2	0	0
13	0	0	0	0	13	2,2	0	0	0	13	0	0	0	0	13	0	0	0	0	0	13	4,3	0	0
14	0	0	0	0	14	1,0	0	0	0	14	4,1	0	0	0	14	0	0	0,047	0,126	14	0	0	0	0
15	0	0	0	0	15	3,2	0,390	1,100	0	15	0	0	0	0	15	0	0	0	0	0	15	0,5	0	0
16	0	0	0	0	16	0,1	0	0	0	16	0	0	0,101	0,234	16	0	0	0	0	0	16	0,1	0	0
17	0	0	0	0	17	0	0	0	0	17	0	0	0	0	17	0	0	0	0	0	17	0	0	0
18	0	0	0	0	18	0	0	0	0	18	0	0	0	0	18	0	0	0	0	0	18	0	0	0
19	0,2	0	0	0	19	0	0,285	0,504	0	19	0	0	0	0	19	0	0	0	0	0	19	0	0	0
20	0	0,390	0,272	0	20	0	0	0	0	20	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	20	0	0	0
21	0	0	0	0	21	0	0	0	0	21	0	0	0	0	21	0	0	0,035	0,998	21	0	0	0	0
22	0	0	0	0	22	0	0	0,7	0	22	0,7	0	0	0	22	0	0	0	0	0	22	0	0	0
23	0	0	0	0	23	0,4	0	0,172	0,315	23	0	0	0	0	23	0,1	0	0	0	0	23	0,1	0	0
24	4,3	0	0	0	24	0,5	0	0	0	24	0	0	0	0	24	0	0	0	0	0	24	0	0	0
25	0,1	0	0	0	25	0	0	0	0	25	0	0	0	0	25	0	0	0	0	0	25	0	0,000	0,151
26	8,0	0	0	0	26	0	0	0	0	26	0	0	0	0	26	0	0	0	0	0	26	0	0	0
27	0	0,178	0,687	0	27	0	0	0	0	27	0	0	0	0	27	0	0	0	0	0	27	0	0	0
28	0	0	0	0	28	1,0	0,187	0,293	0	28	3,2	0	0,031	0,086	28	0	0	0,031	0,086	28	0	0	0	0
29	0	0	0	0	29	0,2	0	0	0	29	0,4	0	0	0	29	0	0	0	0	0	29	0	0	0
30	0	0	0	0	30	3,3	0	0,438	0,729	30	6,9	0	0	0	30	0	0	0	0	0	30	0	0	0
31	0	0	0	0	31	0	0	0	0	31	0	0	0	0	31	0	0	0	0	0	31	0	0	0

2006 ΙΟΥΛ	PP	ΕΡΑΣΙΝΟΣ m <sup>3</sup> /sec	Μ.ΡΕΜΑ m <sup>3</sup> /sec	ΑΥΓ.	2006	PP	ΕΡΑΣΙΝΟΣ m <sup>3</sup> /sec	Μ.ΡΕΜΑ m <sup>3</sup> /sec	ΣΕΠΤ	2006	PP	ΕΡΑΣΙΝΟΣ m <sup>3</sup> /sec	Μ.ΡΕΜΑ m <sup>3</sup> /sec	ΟΚΤ.	2006	PP	ΕΡΑΣΙΝΟΣ m <sup>3</sup> /sec	Μ.ΡΕΜΑ m <sup>3</sup> /sec
1	0			1	0	0			1	0	0			1	0	0		
2	3,6			2	0	0			2	0	0			2	0	0		
3	0,1			3	0	0			3	0	0	0,000	0,104	3	0	0	0,000	0,103
4	0			4	0	0			4	0	0	0		4	0,1	0		
5	0			5	0	0			5	0	0			5	0	0		
6	0			6	0	0,000	0,105		6	0	0			6	0	0		
7	0			7	0	0			7	0	0			7	15,8	0		
8	0			8	0	0			8	0	0			8	2,7	0		
9	0,2	0,000	0,144	9	0	0			9	0	0			9	1,7	0		
10	0,1			10	0	0			10	0	0	0,000	0,103	10	47,2	0		
11	0			11	0	0			11	0	0			11	0,2	0		
12	0			12	0	0			12	0	0			12	0	0	2,580	2,591
13	0			13	0	0,000	0,099		13	0	0			13	0	0		
14	0			14	0	0			14	0	0			14	0	0		
15	0			15	0	0			15	0	0			15	0	0		
16	0	0,000	0,134	16	0	0			16	0	0			16	0,3	0		
17	0			17	0	0			17	0	0			17	0,1	0		
18	0			18	0	0			18	0	0	0,000	0,103	18	2,2	0		
19	0,1			19	0	0			19	0	0			19	0,1	0		
20	0			20	0	0,000	0,099		20	5,1	0			20	0	0	0,195	0,252
21	0			21	0	0			21	1,5	0			21	0,2	0		
22	0			22	0	0			22	0,3	0			22	0,4	0		
23	0	0,000	0,121	23	0	0			23	17,2	0			23	0,1	0		
24	0			24	0	0			24	0,3	0			24	0,1	0		
25	0			25	0	0			25	0	0	0,195	1,019	25	0,1	0		
26	0			26	0	0			26	0,3	0			26	0	0		
27	0			27	0	0,000	0,118		27	0,4	0			27	0	0		
28	0			28	0	0			28	0,9	0			28	0	0		
29	0			29	0	0			29	0	0			29	0	0		
30	0	0,000	0,121	30	0	0			30	0	0			30	19,0	0		
31	0			31	0	0			31	0	0			31	34,5	0		



**Πίνακας VII:** Χαρακτηριστικά στοιχεία των σημείων δειγματοληψίας

No	X	Y	ΑΠΟΛΥΤΟ ΥΨΟΜΕΤΡΟ (m)	ΑΠΟΛΥΤΗ ΣΤΑΘΜΗ (m) Σεπτέμβριος 2005	ΒΑΘΟΣ (m)
<b>ΠΗΓΑΔΙΑ</b>					
2	499259	4197268	8	7,45	10
7	496161	4196122	34	30,05	10
14	499206	4197622	6	2,95	12
15	500776	4198695	25	17,15	6
16	500644	4198597	20	5,5	15
17	501053	4199413	19	9,8	25
20	499861	4201358	48	28	30
21	500132	4202203	50	40,1	5
22	500517	4202491	17	12,25	8,5
23	500142	4203848	18	13,1	30
24	501427	4204624	1	-	9
25	500055	4207346	6	1,8	
27	486297	4205457	230	224,4	30
28	486055	4204877	243	238,2	28
29	486361	4204151	227	221	25
30	486619	4202587	212	202,8	30
31	486926	4201715	208	198,75	30
32	487582	4201898	199	192,85	27
33	486020	4200835	239	234	30
34	486369	4200017	210	201,4	30
35	488328	4198883	132	129	30
36	488068	4198287	128	124	30
37	487218,5	4196810	153	145,7	20
38	487697,8	4195311	129	122,4	23
39	490207,3	4192862	95	93,3	25
42	488022	4198916	138,68	134,9	30
44	488948	4197347	124	117	30
45	488272	4199854	144,17	139,2	30
46	489775	4200093	138	134,4	30
47	488301	4200769	170,99	159,5	30
48	489555	4194029	107,29	101,3	22
49	489109	4195107	109	104	25
50	489886	4195010	99	95	20
51	488048	4195204	122,83	110,83	25
52	487211	4195311	135	129	30
53	489808	4193203	98	78	25
54	488011	4191502	134	127,5	25
55	487476	4191171	139	137,45	26
56	489077	4192529	99	93,5	30
57	486183	4190386	133	108	30
58	492081	4192319	50	44,5	25
59	490207	4194312	99	94,4	30
60	487841	4203814	178	174,6	30
61	488521	4204676	169,16	163,15	30
62	488646	4205323	183	174,9	
63	491778	4204698	125,58	122,6	30
64	493276	4201873	111,56	99,05	25
65	491605	4201633	123,75	122,3	55

No	X	Y	ΑΠΟΛΥΤΟ ΥΨΟΜΕΤΡΟ (m)	ΑΠΟΛΥΤΗ ΣΤΑΘΜΗ (m) Οκτώβριος 2005	ΒΑΘΟΣ (m)
<b>ΠΗΓΑΔΙΑ</b>					
66	488907	4203404	154,53	147,03	30
67	491233	4205087	136	124,8	45
68	490209	4203725	130	123	
69	489962	4204176	140	138,8	25
73	497880	4193749	30	12	30
75	498418	4194815	29	25,8	25
76	499591	4203426	22	8	19
77	493400	4204789	99	95,45	20
80	493131	4193417	75	-	25
81	492470	4203143	137	133,8	25
83	495318	4202301	75	73,3	25
84	491372	4200667	118	110	23
87	493891	4191949	78	74,4	30
88	493189	4193366	77	67,2	25
89	494426	4195613	61	43,5	
92	488090	4200667	160	155,75	30
93	489623	4194845	109	104,75	25
<b>ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ</b>					
4	498227	4194985	20	-	
13	501953	4194091	38	5	33
18	500603	4199629	20	13,9	30
19	500427	4200523	14	-	22
26	494261	1206165	113	95	
40	493128	4201986	123	-	125
41	491687	4203835	121	-	110
43	488909	4197929	131,67	-	
70	487119	4198236	143,56	-	
72	498025	4193868	30	-	75
74	498887	4195873	50	15	
82	495673	4204656	87	15	
85	491710	4198896	95	63	125
86	492452	4197932	78	74	90
90	489185	4192969	110	140	160
91	502000	4194022	31	25	68
95	497404	4206520	59	34	
96	497708	4206862	78	48	
<b>ΠΗΓΕΣ</b>					
3	499111	4196914	14	14	
71	484931	4197516	237	237	
94	499179	4197340	10	10	
<b>ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ ΝΕΡΑ</b>					
1	499259	4197268	8		
5	496539	4195962	36		
6	496155	4196000	32		
8	500593	4207421	0,5		
9	497524	4206408	30		
10	497275	4206622	32		
11	494365	4204336	72		
12	490216	4203723	130		

**Πίνακας VIII:** Συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων στα υπόγεια νερά των τεταρτογενών σχηματισμών

No	Fe	Mn	Cu	Zn	Cd	Pb	Ni	Co	Cr	Sr
2	0,020	0,102	0,105	0,899	0,029	0,105	0,000	0,000	0,000	2,857
7	0,000	0,002	0,006	0,995	0,000	0,003	0,002	0,001	0,002	1,631
14	0,000	0,002	0,009	0,023	0,001	0,001	0,003	0,000	0,004	1,071
15	0,025	0,091	0,093	0,047	0,065	0,250	0,098	0,000	0,463	5,343
17	0,150	0,089	0,123	0,071	0,052	0,237	0,205	0,000	0,000	3,116
22	0,104	0,089	0,096	0,238	0,060	0,142	0,230	0,000	0,000	3,967
24	0,202	0,077	0,162	0,216	0,056	0,077	0,275	0,000	0,641	2,301
25	0,000	0,002	0,008	4,978	0,001	0,007	0,003	0,000	0,000	1,363
29	0,131	0,005	0,012	0,029	0,001	0,001	0,006	0,001	0,002	0,522
46	0,095	0,104	0,156	0,085	0,058	0,111	0,218	0,000	0,408	2,120
58	0,184	0,010	0,098	0,055	0,056	0,189	0,123	0,000	0,406	4,517
71	0,203	0,042	0,147	0,052	0,045	0,174	0,183	0,000	0,402	2,075
87	0,000	0,001	0,004	0,046	0,000	0,001	0,002	0,001	0,001	2,149
88	0,088	0,392	0,005	2,394	0,002	0,002	0,022	0,002	0,000	0,795
94	0,037	0,100	0,102	0,856	0,036	0,104	0,000	0,000	0,208	2,970
<b>max</b>	<b>0,203</b>	<b>0,392</b>	<b>0,162</b>	<b>4,978</b>	<b>0,065</b>	<b>0,250</b>	<b>0,275</b>	<b>0,002</b>	<b>0,641</b>	<b>5,343</b>
<b>min</b>	<b>0,000</b>	<b>0,001</b>	<b>0,004</b>	<b>0,023</b>	<b>0,000</b>	<b>0,001</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,522</b>
<b>μέσος όρος</b>	<b>0,083</b>	<b>0,074</b>	<b>0,075</b>	<b>0,732</b>	<b>0,031</b>	<b>0,094</b>	<b>0,091</b>	<b>0,000</b>	<b>0,169</b>	<b>2,453</b>
<b>st dev</b>	<b>0,077</b>	<b>0,098</b>	<b>0,061</b>	<b>1,340</b>	<b>0,027</b>	<b>0,090</b>	<b>0,104</b>	<b>0,000</b>	<b>0,229</b>	<b>1,373</b>
<b>πλήθος</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>15</b>

**Πίνακας VIII:** Συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων στα υπόγεια νερά των νεογενών σχηματισμών

	Fe	Mn	Cu	Zn	Cd	Pb	Ni	Co	Cr	Sr
4	0,011	0,067	0,100	0,274	0,060	0,246	0,121	0,000	0,702	3,240
18	0,023	0,061	0,120	0,240	0,039	0,260	0,231	0,000	0,308	2,154
19	0,113	0,063	0,097	0,073	0,047	0,053	0,197	0,000	0,000	2,513
20	0,218	0,087	0,086	0,050	0,044	0,000	0,000	0,000	0,230	2,882
21	0,197	0,088	0,087	0,053	0,053	0,087	0,123	0,000	0,000	3,458
23	0,154	0,103	0,113	0,893	0,045	0,000	0,000	0,000	0,000	3,206
26	0,023	0,053	0,092	0,096	0,054	0,132	0,331	0,000	0,195	2,787
31	0,000	0,000	0,018	0,152	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	1,180
32	0,021	0,102	0,087	0,301	0,076	0,093	0,000	0,000	0,288	1,852
36	0,000	0,001	0,006	0,174	0,000	0,019	0,001	0,000	0,000	0,309
37	0,000	0,001	0,007	0,045	0,001	0,002	0,002	0,000	0,001	0,384
38	0,000	0,005	0,010	0,793	0,000	0,003	0,005	0,001	0,001	0,278
39	0,000	0,006	0,012	0,041	0,000	0,001	0,005	0,001	0,001	3,019
41	0,044	0,002	0,009	0,062	0,000	0,000	0,033	0,001	0,001	2,035
43	0,205	0,060	0,088	2,364	0,050	0,000	0,137	0,000	0,448	2,623
44	0,000	0,001	0,003	0,015	0,000	0,000	0,005	0,002	0,000	0,523
48	0,203	0,081	0,133	0,056	0,060	0,140	0,184	0,000	0,000	1,231
49	0,191	0,127	0,149	0,044	0,051	0,234	0,266	0,000	0,440	2,557
50	0,187	0,107	0,133	0,056	0,048	0,258	0,214	0,000	0,000	2,384
51	0,196	0,152	0,144	0,081	0,049	0,000	0,168	0,000	0,000	2,367
52	0,271	0,061	0,136	0,141	0,044	0,166	0,115	0,000	0,000	2,154
53	0,206	0,087	0,095	0,280	0,070	0,272	0,221	0,000	0,632	3,149
54	0,137	0,073	0,096	0,057	0,049	0,273	0,160	0,000	0,000	6,180
55	0,102	0,094	0,115	0,156	0,053	0,110	0,244	0,000	0,000	3,933
56	0,159	0,092	0,135	0,076	0,042	0,158	0,238	0,000	0,000	3,205
57	0,201	0,154	0,138	0,082	0,046	0,087	0,205	0,000	0,355	3,380

No	Fe	Mn	Cu	Zn	Cd	Pb	Ni	Co	Cr	Sr
59	0,000	0,001	0,011	0,135	0,000	0,001	0,003	0,001	0,000	3,004
60	0,192	0,093	0,081	0,120	0,069	0,141	0,052	0,000	0,385	3,771
61	0,094	0,084	0,132	0,080	0,055	0,000	0,204	0,000	0,146	3,214
62	0,000	0,001	0,003	0,091	0,000	0,001	0,001	0,000	0,001	1,431
63	0,007	0,015	0,006	0,160	0,000	0,001	0,002	0,000	0,002	0,875
64	0,000	0,002	0,008	0,107	0,000	0,001	0,115	0,004	0,002	3,089
65	0,034	0,001	0,003	0,080	0,000	0,001	0,004	0,000	0,062	0,270
66	0,000	0,007	0,003	0,004	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,434
67	0,037	0,015	0,024	1,029	0,000	0,002	0,189	0,010	0,001	0,887
69	0,000	0,017	0,006	8,683	0,001	0,006	0,003	0,000	0,000	0,356
74	0,000	0,007	0,082	1,322	0,001	0,002	0,009	0,000	0,001	0,809
75	0,069	0,089	0,112	0,486	0,054	0,198	0,000	0,000	0,000	2,291
76	0,000	0,002	0,018	0,446	0,000	0,003	0,003	0,000	0,002	1,515
77	0,000	0,001	0,013	0,043	0,000	0,001	0,003	0,000	0,002	1,334
80	0,000	0,069	0,092	0,152	0,045	0,374	0,218	0,000	0,122	4,849
81	0,005	0,001	0,020	0,022	0,000	0,000	0,021	0,001	0,002	2,867
82	0,000	0,002	0,003	0,011	0,000	0,003	0,005	0,000	0,012	1,253
83	0,049	0,003	0,006	0,013	0,002	0,000	0,002	0,000	0,003	2,278
84	0,040	0,001	0,012	0,257	0,000	0,001	0,003	0,000	0,003	1,533
85	0,061	0,002	0,011	0,901	0,000	0,004	0,007	0,000	0,005	0,500
89	0,000	0,012	0,047	0,263	0,000	0,001	0,004	0,001	0,000	1,321
93	0,012	0,134	0,149	0,089	0,050	0,218	0,197	0,000	0,480	2,967
95	0,000	0,003	0,009	0,026	0,000	0,000	0,003	0,000	0,001	3,228
96	0,018	0,007	0,013	0,076	0,000	0,001	0,002	0,000	0,001	1,874
<b>max</b>	<b>0,271</b>	<b>0,154</b>	<b>0,149</b>	<b>8,683</b>	<b>0,076</b>	<b>0,374</b>	<b>0,331</b>	<b>0,010</b>	<b>0,702</b>	<b>6,180</b>
<b>min</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,003</b>	<b>0,004</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,270</b>
<b>μέσος όρος</b>	<b>0,070</b>	<b>0,046</b>	<b>0,061</b>	<b>0,425</b>	<b>0,025</b>	<b>0,071</b>	<b>0,085</b>	<b>0,001</b>	<b>0,097</b>	<b>2,179</b>
<b>st dev</b>	<b>0,084</b>	<b>0,048</b>	<b>0,054</b>	<b>1,263</b>	<b>0,027</b>	<b>0,103</b>	<b>0,100</b>	<b>0,001</b>	<b>0,183</b>	<b>1,277</b>
<b>πλήθος</b>	<b>50</b>	<b>50</b>	<b>50</b>	<b>50</b>	<b>50</b>	<b>50</b>	<b>50</b>	<b>50</b>	<b>50</b>	<b>50</b>

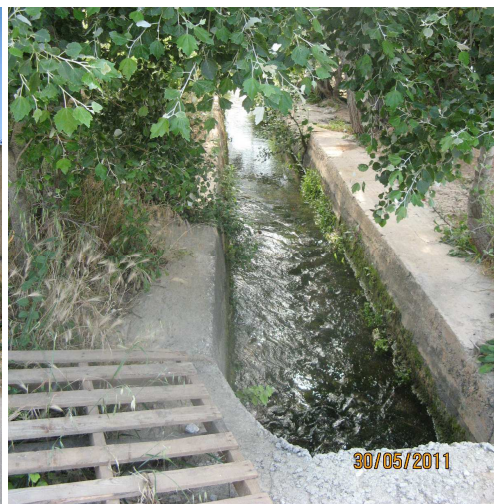
**Πίνακας X:** Συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων στα υπόγεια νερά των ανθρακικών σχηματισμών

	Fe	Mn	Cu	Zn	Cd	Pb	Ni	Co	Cr	Sr
3	0,080	0,072	0,114	0,221	0,058	0,081	0,215	0,000	0,000	2,649
13	0,130	0,076	0,104	0,210	0,066	0,164	0,154	0,000	0,386	1,915
16	0,236	0,079	0,102	0,478	0,047	0,434	0,260	0,000	0,000	2,124
27	0,000	0,001	0,003	0,017	0,000	0,000	0,005	0,000	0,004	1,646
28	0,022	0,078	0,089	0,067	0,065	0,116	0,258	0,000	0,313	0,591
30	0,106	0,057	0,091	0,104	0,042	0,064	0,000	0,000	0,612	0,448
33	0,000	0,001	0,013	0,039	0,000	0,001	0,015	0,000	0,007	1,903
34	0,011	0,066	0,096	0,310	0,056	0,118	0,102	0,000	0,154	0,560
35	0,022	0,098	0,092	0,057	0,060	0,097	0,201	0,000	0,245	1,187
40	0,000	0,000	0,023	0,035	0,000	0,001	0,003	0,000	0,004	1,590
42	0,000	0,001	0,006	0,010	0,000	0,001	0,004	0,001	0,001	0,392
45	0,217	0,120	0,139	0,040	0,053	0,194	0,192	0,000	0,396	2,553
47	0,011	0,114	0,121	0,098	0,059	0,259	0,079	0,000	0,499	2,728
70	0,020	0,014	0,081	0,148	0,071	0,354	0,135	0,000	0,403	1,103
72	0,000	0,106	0,089	0,897	0,047	0,349	0,270	0,000	0,000	7,240
73	0,000	0,118	0,095	0,094	0,041	0,223	0,207	0,000	0,422	5,517
86	0,000	0,000	0,010	0,025	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,418
90	0,089	0,086	0,075	0,359	0,045	0,132	0,297	0,000	0,000	1,004
91	0,110	0,079	0,101	0,245	0,067	0,167	0,150	0,000	0,394	2,300
92	0,012	0,099	0,109	0,142	0,057	0,271	0,091	0,000	0,489	2,980
<b>max</b>	<b>0,236</b>	<b>0,120</b>	<b>0,139</b>	<b>0,897</b>	<b>0,071</b>	<b>0,434</b>	<b>0,297</b>	<b>0,001</b>	<b>0,612</b>	<b>7,240</b>
<b>min</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,003</b>	<b>0,010</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,392</b>
<b>μέσος όρος</b>	<b>0,053</b>	<b>0,063</b>	<b>0,078</b>	<b>0,180</b>	<b>0,042</b>	<b>0,151</b>	<b>0,132</b>	<b>0,000</b>	<b>0,216</b>	<b>2,042</b>
<b>st dev</b>	<b>0,073</b>	<b>0,044</b>	<b>0,042</b>	<b>0,211</b>	<b>0,026</b>	<b>0,131</b>	<b>0,103</b>	<b>0,000</b>	<b>0,219</b>	<b>1,723</b>
<b>πλήθος</b>	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>20</b>



Φωτογραφίες από το σημείο δειγματοληψίας επιφανειακού νερού Ερ.1





Φωτογραφίες από το σημείο δειγματοληψίας επιφανειακού νερού Ερ.2



Φωτογραφίες από το σημείο δειγματοληψίας επιφανειακού νερού Ερ.3



Φωτογραφίες από το σημείο δειγματοληψίας επιφανειακού νερού Ραφ.1





Φωτογραφίες από αγωγούς εισροής υδάτων στο σημείο δειγματοληψίας επιφανειακού νερού Ραφ.1



Φωτογραφίες από το σημείο δειγματοληψίας επιφανειακού νερού Ραφ.2



Φωτογραφίες από το σημείο δειγματοληψίας επιφανειακού νερού Ραφ.3





Φωτογραφίες από το σημείο δειγματοληψίας επιφανειακού νερού Ραφ.4



Φωτογραφίες από το σημείο δειγματοληψίας επιφανειακού νερού Ραφ.5